A TARTALOMBÓL:

- Akkumulátorcella-gyártásból származó hulladékok
- Utánvilágító útirányjelzés
- ELTE Kémiai Okoslabor – SuperSmartLab
- TETT-történet: Egy közös álom

MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA

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

Irinyi-verseny: döntő

A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával készült

Nemzeti Kulturális Alap

labcup
www.labcup.net

Készlet- és eszköznyilvántartó rendszer vegyszerek, biológiai anyagok és fogyóeszközök kezelésére, ipari és akadémiai felhasználásra.

Felhasználóközpontú megoldás, amely minimalizálja az adminisztrációt és automatizálja a folyamatokat. A Labcup automatikusan betölti a szükséges vegyi adatokat (SDS, GHS, szinonimák, szerkezetek, vészhelyzeti információk stb.), amelyek elérhetők és felhasználásra kerülnek a vegyszer teljes életciklusa alatt. Minden vegyszer és tétel egyedi vonalkóddal/azonosítóval követhető.

VESZÉLYES ANYAG NYILVÁNTARTÁS

MEGFELELŐSÉGI JELENTÉSEK

ESZKÖZ NYILVÁNTARTÁS

FENNTARTHATÓSÁG

- ✓ Vegyszer nyilvántartás
- ✓ Biztonságtechnikai adatlap (SDS) nyilvántartás
- ✓ Maximálisan tárolható mennyiségek követése
- ✓ Műszer foglalás, kalibráció, karbantartás, tréningek követése, állóeszköz nyilvántartás
- ✓ Valós idejű vészhelyzeti és tűzvédelmi információ
- ✓ Vegyszer és fogyóeszköz raktárkezelés, webshop
- ✓ Beszerzési folyamatok és integráció
- ✓ Szelektív veszélyes hulladék gyűjtés és nyilvántartás (ADR)
- ✓ Munkavédelmi áttekintés, megfelelőségi jelentés készítés
- ✓ Digitális kockázatbecslés, baleset és kvázi baleset nyilvántartás
- ✓ Interaktív, digitális alaprajz
- ✓ Leltár funkció
- ✓ Statisztikai kimutatások
- ✓ Webes és mobil alkalmazás
- ✓ Szoftverek közötti integráció (API)
- ✓ Augmented Reality (AR)

Próbálja ki!

14 nap ingyenes teszt

További információért keresse fel a www.labcup.net oldalunkat.

MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA
HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL

LXXXI. évf., 6. szám, 2026. 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,
ifj. SZÁNTAY CSABA, KALÁSZ HUBA,
KISS TAMÁS, MERNYÁK ERZSÉBET,
SKODÁNÉ FÖLDES RITA,
SZÉPVÖLGYI JÁNOS, TÖMPE PÉTER,
ZÉKÁNY ANDRÁS

Szerkesztők:
DOBÓ DORINA, KEGLEVICH KRISTÓF,
KERTI GÁBOR, KOVÁCS LAJOS,
NAGY GÁBOR, PAP JÓZSEF SÁNDOR
Szerkesztőségi titkár: KOCOR ERIKA

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

Szerkesztőség: 1106 Budapest,
Fehér út 10. (White Office)
Tel.: 36-20-214-0808
E-mail: mkl@mke.org.hu

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

Terjeszti a Magyar Kémikusok Egyesülete
Az előfizetési díjak befizethetők
a CIB Bank 10700024-24764207-51100005 sz.
számlájára „MKL” megjelöléssel
Egy lapszám ára: 1800 Ft
MKE-tagoknak előfizetés: 9900 Ft
Nem MKE tagoknak: 19 900 Ft
Külföldön terjeszti
a Batthyany Kultur-Press Kft.,
H-1014 Budapest, Szentháromság tér 6.
1251 Budapest, Postafiók 30.
Tel./fax: 36-1-201-8891, tel.: 36-1-212-5303

Hirdetések-Anzeigen-Advertisements:
KOCOR ERIKA

Magyar Kémikusok Egyesülete,
1106 Budapest, Fehér út 10. (White Office)
Tel.: 36-20-214-0808,
e-mail: mkl@mke.org.hu

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

Index: 25 541
HU ISSN 0025-0163 (nyomtatott)
HU ISSN 1588-1199 (online)
DOI: 10.24364/MKL.2026.06

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

KEDVES OLVASÓK!

„Nem lesz belőlem vegyész sohasem, ahhoz nem vagyok elég jó. Én laboráns leszek – felelte Beni teljesen megsemmisülten” – *Bencze Kinga TETT-pályamunkája rímel arra a mindent vagy semmit abszolútumra, amelyet fiatalságunk elkövetésekor, miközben megfoghatatlan erők munkálkodnak rajtunk, sokan átéltünk. És átélünk azóta is, amikor a szakmai kérdések hirtelen hivatástudattá duzzadnak; amikor féktávon belül elénk ugrik a „helyzet”, és egyedül vagyunk. Nemrég gimistákkal hozott össze egy előadói nap, a negyvenöt percből ötvenhat lett, a képzelet és valóság mezsgyéjéről visszatérve pedig elém állt egy diák. Önmagát kereste éppen, miközben azt a kérdést szegezte nekem, amit magunknak is sokszor félünk föltenni: honnan tudom eldönteni, hogy kémiával szeretnék foglalkozni, hogy ez az „igazi”? Becsszóra, az első, ami beugrott, hogy lapozgassa a Magyar Kémikusok Lapját – erre Gábor épp e mostani beköszöntőre kért föl, ejnye! –, a második pedig, hogy persze, menjen csak a pluszórákra, tegye oda magát. Végül kihámoztuk: valaminek a mélyére ásni, az izzadságos munka. Vagy odaszegez és felszívódik a tudatlan szorongás, vagy kiújuló frusztrációkkal leterít minket. Akármelyik is, az ember megérzi… Pokol György professzor szellemiségét idézve, végtére is „az emberekre kell fókuszálni”.*

Hiánypótló, és a lap olvasóinak szakmai érdeklődésén túlmutató, általános tanulságokkal szolgál a lítiumion-akkumulátorok gyártásával járó hulladékfajták és a kapcsolódó hulladékgazdálkodási szempontok részletes sorra vétele. A szöveg komplex, mélyen technikai, mégis érdemes elmerülni benne – akár egy MI-támogatott keresőt segítségül hívva –, hogy megértsük és befogadjuk, mi mindennel jár a gyorsan fejlődő akkumulátorgyártás. „Vészhelyzetben az ember nem szabványt olvas és nem alaprajzot elemez, hanem kapaszkodókat keres: merre kell indulni, hol kell fordulni, melyik ajtó használható, és hogyan lehet a lehető leggyorsabban biztonságos térbe jutni. A menekülési út jelölésének ezért nem önmagában kell helyesnek lennie, hanem útvonal-szinten kell működnie” – *de ez már a következő írás veleje, amely fotolumineszcens megoldásokat tárgyal menekülési útirányjelzésekben; így nem is lenne illendő egybemosnom az előbbivel. Intő aktualitást ad Kutasi Csaba cikkének – amely a röntgensugárzás káros hatásaitól védő egészségügyi öltözékekről és árnyékolókról szól – a negyven éve történt csernobili katasztrófa. Más a kontextus, de talán nem felejtettünk el tanulni a múltbéli hibákból (ez velünk nem történhet meg!), legyen szó bármelyik iparágról is.*

Köszönet illeti mindazon szerzőket és a lapszámok folyamatos megjelenését biztosító munkatársakat, akik a Magyar Kémikusok Lapja júniusi menüjéből válogatva, avatott házigazda módjára tálcán nyújtják elénk az érdekességeket és műélvező, kalauzolásra vágyó énünket megszólítva kínálnak meg szakmánk fogásaival.

2026. június

Pap József Sándor

TARTALOM

OKTATÁS
Lente Gábor, Ősz Katalin: Az 58. Irinyi János Középiskolai Kémiaverseny döntője 166
Magyarfalvi Gábor, Szabados Ágnes, Tarczay György: Innovatív kémiaoktatás a jövő vegyészeinek – ELTE Kémiai Okoslabor – SuperSmartLab 169
Bencze Kinga: Egy közös álom 171
VEGYIPAR ÉS KÉMIATUDOMÁNY
Kun Róbert, Pálinkás Gergely István, Schmidtka Gábor: A hazai akkumulátorcella-gyártásból származó hulladékok jogi helyzete, jellege és mennyiségi viszonyai 174
BIZTONSÁGI JELZÉSEK ÉS KÉMIAI BIZTONSÁG
Agárdi Tamás: Amikor a menekülési jel már rendszer – utánvilágító útirányjelzés a gyakorlatban 181
MEGEMLÉKEZÉS
Nyulászi László: Pokol György (1950–2026) 183
KITEKINTÉS
Kutasi Csaba: A röntgensugárzás káros hatásaitól védő öltözékek, árnyékolók 184
VEGYÉSZLELETEK
Lente Gábor rovata 188
A HÓNAP KÉMIAI PUBLIKÁCIÓJA 190
A HÓNAP HÍREI 191

Címlapunkon: Az 58. Irinyi János Középiskolai Kémiaverseny döntője (Fotó: Csonka Krisztina)

Lente Gábor – Ősz Katalin

Az 58. Irinyi János Középiskolai Kémiaverseny döntője

A Magyar Kémikusok Egyesülete 2026-ban immáron 58. alkalommal rendezte meg az Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaversenyt. A hosszú idő alatt kikristályosodott hagyományokat követve három fordulóban (iskolai, megyei, országos) fokozatosan nehezedő feladatokat kaptak a diákok: ezek összeállítását a 15 fős Versenybizottság felügyelte *Ősz Katalin* egyetemi docens (Pécsi Tudományegyetem), a Versenybizottság elnöke irányításával. A 2025–2026. évi versenykiírást 2025 őszén tettük közzé a verseny honlapján (https://irinyiverseny.mke.org.hu/), a nevezők regisztrációja december 12-ig tartott.

Az első forduló írásbeli feladatait 2104 diák írta meg 2026. január 22-én. A 2026. február 26-án tartott második fordulóba 575 diák jutott tovább, ezt megyénként egy-egy központi helyszínen rendeztük meg, s már laborfeladat is volt benne. Április 10. és 12. között összesen 204 diák vett részt a háromnapos, remek hangulatú országos döntőn. A versenyzőket összesen 82 kémiatanár és néhány szülő kísérte el, így a döntő a magyar kémiaoktatás egyik legnagyobb közösségi eseménye, amelynek a verseny történetében először Pécs városa, a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kara adott otthont.

A megnyitót április 10-én este tartottuk a PTE Szentágothai János Kutatóközpont Bachman Zoltán-előadótermében (közkeletű nevén a „Kavics”-ban). Először *Zag Gábor*, Pécs város alpolgármestere köszöntöte a résztvevőket, s rövid beszédében felidézte azokat a kémiai kísérleteket, amelyeket gyermekkorában, a saját otthonában végzett a szülei nem teljes örömére. Utána *Tróccsányi András*, a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karának dékánja szólt a résztvevőkhöz. Számára a tanulmányi versenyek szervezése hazai pálya, mert a földrajzi diákolimpiára utazó magyar csapat válogatóversenyét ő szervezi, illetve az olimpiára is az ő vezetésével megy a magyar csapat.

Horváth Attila, a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karán a Kémiai Intézet igazgatója Szent-Györgyi Albert és Szentágothai János szavait idézve adott jó tanácsokat a versenyzőknek, s végül *Ősz Katalin*, a Versenybizottság elnöke köszöntötte a jelenlévőket és nyitotta meg a versenyt sok sikert és még több közös élményt kívánva diákoknak, tanároknak egyaránt.

Másnap, április 11-én kora reggeli kezdéssel a PTE Természettudományi Karon és a PTE Szentágothai János Kutatóközpontban folytatódott a verseny az írásbeli és gyakorlati fordulókkal.

Az előző években már kipróbált és bevált menetrend szerint reggel nyolctól a 9. osztályosok a laboratóriumi gyakorlattal, a 10. osztályosok pedig az írásbelivel kezdték el a versenyt, majd rövid szünet után fordított beosztásban folytatták.

A 9. osztályosoknak a laborfordulóban a kereskedelmi forgalomban kapható trisót kellett jellemezniük sav-bázis titrálás segítségével. A 10. osztályosoknak a versenykiírásnak megfelelően reagens nélküli ionvadászat volt a feladat. A diákok számára a megpróbáltatások kora délután, fél kettőkor értek véget.

Eközben a tanároknak a Körber-teremben *Petz Andrea*, a Magyar Kémikusok Egyesülete Kémiatanári Szakosztályának elnöke mutatta be az egyesület oktatással kapcsolatos kezdeményezéseit. Ezt követően „Brainstorming: ötletek az Irinyi OKKV megújítására" címmel *Musza Katalin* és *Uhljar Janka* beszélt a Csongrád-Csanád megyei forduló már évek óta sikeres rendhagyó, újító feladatairól és azok fogadtatásáról. Rövid szünet után a döntőn kiadott elméleti feladatok megbeszélése zárta az ebéd előtti programot. Erre azért is nagy szükség van, mert az elméleti és a számolási feladatok javítását a döntőre érkező kísérőtanárok végzik. Az idén mintegy ötvenen vettek részt ebben a munkában, munkájuk eredményeként este részleges (vagyis a vasárnapi szóbeli forduló pontszámait még nem tartalmazó) eredményhirdetésre kerülhetett sor. Hálásak vagyunk minden kollégának, akik részt vettek a javításban.

A versenyző diákok számára a délután már a pihenésről szólt. Ennek keretében – és a szép időjárásnak is köszönhetően – megismerhették az egyetem, illetve Pécs nevezetességeit. A legügyesebbek még egy tiktok-kihívást is teljesítettek; a két legötletesebb videót összeállító csapat a másnap délelőtti eredményhirdetésen vehette át a díjakat *Lente Gábortól*.

A részleges eredményhirdetésre a Versenybizottság összeállította azoknak a diákoknak a névsorát, akik a másnapi szóbeli fordulón részt vehettek. Emellett estére a részletes írásbeli- és laborpontszámok is felkerültek a PTE TTK Kémiai Intézetének Irinyi-oldalára. A hagyományok szerint azonban ezt az eredményhirdetést mindig megelőzi egy izgalmas program: az idén ez két részből állt.

Az elsőben *Buzafalvi Dénes* vezetésével mutatták be a Nemzetközi Kémiai Tornát (International Chemistry Tournament, IChTo, https://kemiaitorna.mke.org.hu/), ami nemzetközi csapat-

Néhány számítási feladat a döntőről:

1. A szintézisgáz a vegyipar egyik fontos alapanyaga, belőle számos vegyület (pl. metanol, hangyasav stb.) állítható elő. A folyamat során a metánt 1000 °C-on vízgőzzel reagáltatják, szénmonoxid és hidrogéngáz képződése közben. A reakció megfordítható.

a) Írd fel a szintézisgáz előállításának reakcióegyenletét!

Egy zárt, 5,00 dm^3 térfogatú tartályba 100,0 g metánt és 100,0 g vízgőzt töltenek, majd 1000 °C-on beindítják a reakciót. Az egyensúly beállásáig a metán 25,0%-a alakul át.

b) Számítsd ki a folyamat egyensúlyi állandóját!

Egy másik, ugyanolyan tartályba a 100,0 g metánt és 100,0 g vízgőzt tartalmazó elegyhez valamekkora tömegű szén-monoxid-gázt is adnak, majd a reakciót beindítják (ismét 1000 °C-on). A metán átalakulása ebben az esetben 15,0%-os.

c) Mekkora tömegű szén-monoxidot kevertek a kiindulási elegyhez? (9. osztály)

2. Egy kísérleti reaktorban SO_2 és O_2 katalitikus reakcióját vizsgálták. A reaktor térfogata 5,00 dm^3, a benne lévő gázelegy 961 gramm volt. A kiindulási gázelegy 50–50 térfogatszázalékban tartalmazta a két kiindulási anyagot, a hőmérséklete 160 °C volt. A gyártás első fázisában (az egyensúly beállta előtt) két alkalommal vettek mintát; a mintavevő személyek Sára és Zoltán.

- Sára megállapította, hogy mintavételkor a gázelegynek 50,5 g/mol volt az átlagos moláris tömege.
- Zoltán mérési adatai szerint a gázelegy térfogatszázalékos összetétele: 34,6% SO_2, 44,8% O_2 és 20,6% SO_3.

A kémiai egyensúly beálltakor a következő két koncentrációt mérték a reaktorban: $[SO_2] = 1{,}2$ mol/dm^3; $[O_2] = 1{,}6$ mol/dm^3.

a) Írd fel a lezajló reakció egyenletét!

b) Ki vett korábban mintát a két mintavevő személy közül?

c) A későbbi, de még nem egyensúlyi mintavétel idején hány grammal kevesebb SO_2 volt a reaktorban, mint a korábbi mintavételnél?

d) Mennyi a végállapotban a SO_3 koncentrációja, és mekkora az egyensúlyi állandó értéke a reakció hőmérsékletén?

e) Add meg a gázelegy sűrűségét a kiindulási állapotban, Sára mérésekor, Zoltán mérésekor és az egyensúlyban is! (10. osztály)

3. Egy ritka, kétféle elemből álló vegyület 780,5 mg-ját oxigénben hevítve a kétféle alkotó elem oxidjának szilárd keveréke keletkezik: az első oxidból 664,5 mg, a másodikból 444,0 mg. A második oxid oxigéntartalma 28,83 tömegszázalék. Mi a két oxid és mi a ritka vegyület tapasztalati képlete, ha tudjuk, hogy az egyik oxidban az elem oxidációs száma +5? (10. osztály)

Megoldások a 196. oldalon.

verseny középiskolás diákok számára. A résztvevők feladata nem hagyományos, nyitott végű kémiafeladatok megoldása, és a megoldásaik bemutatása angol nyelven. A következő IChTo helyszíne Hoengseong városa Dél-Koreában, időpontja 2026. augusztus 15–19. A magyar delegáció idén 12 diákból áll, a csapatba a 2026. február 14. és 15. között megrendezett budapesti válogatóversenyen lehetett bekerülni.

A második részben „Mi mindenre jó a kémia?” címmel panelbeszélgetést hallgathattak meg a versenyzők sikeres kémikusokkal, ahol a moderátor *Szabó János,* az MKE ügyvezető igazgatója volt. A meghívott beszélgetőtársak a következők voltak:

- *Majtán Márton*, vegyészmérnök és oktató, a MOL Dunai Finomító munkatársa
- *Urbányi Zoltán*, a Magyar Kémikusok Egyesülete alelnöke, a VRG Therapeutics Zrt. Biologikum fejlesztési igazgatója
- *Szabó Csaba*, a Magyar Vegyipari Szövetség igazgatója
- *Szalay Péter*, a Magyar Kémikusok Egyesülete elnöke, az Eötvös Loránd Tudományegyetem professzora
- *Szántay Csaba* tudományos főtanácsadó, a Richter Gedeon Nyrt. egészségügy- és oktatástámogatási vezetője

Az este során a beszélgetés résztvevőiről kiderült, hogy nemcsak kémikusként eredményesek, hanem zenészként is lelkesek, előadásukat hálás tapssal köszönte meg a hallgatóság.

Vasárnap (április 12-én) délelőtti szóbeli fordulót a PTE Szentágothai János Kutatóközpont legnagyobb előadótermében, a Kavicsban rendeztük meg. A diákok előadásait pontozó zsűri elnöke *Szalay Péter* egyetemi tanár, az MKE elnöke volt, a zsűri tagjai *Bárány Zsolt Béla* kémiatanár, *Musza Katalin* kémiatanár, egyetemi docens, *Ősz Katalin* egyetemi docens, valamint *Várnagy Katalin* egyetemi tanár voltak. A szóbeli fordulón – ahogy azt már megszokhattuk – tartalmas, érdekes és remekül felépített 5–5 perces előadásokat hallgathattunk meg, erre minden diáknak 10 perc felkészülési ideje volt. Az idei évben kicsit változtattunk a szóbeli pontozás menetén: a maximális pontszám maradt a korábbi években megszokott 25 pont, de idén először minden zsűritag 1 és 25 között pontozott, és a végleges versenyeredménybe a pontszámok átlaga került be. Ahogy *Szalay Péter* elmondta, ez sokkal árnyaltabb különbségtételt tett lehetővé a versenyzők között, így segített a végső sorrend felállításában.

A rendezvény az ünnepélyes eredményhirdetéssel fejeződött be, ahol a szervezőbizottság és a versenybizottság tagjai mellett *Tóth László*, a PTE TTK tudományos dékánhelyettese is gratulált a verseny valamennyi résztvevőjének, köztük a díjazottaknak.

Jövőre ismét a Pécsi Tudományegyetem ad otthont az Irinyi-verseny döntőjének, valószínűleg 2027. április 2. és 4. között. Mindenkit sok szeretettel várunk a jövő évi versenyre is!

A versenyről további információk találhatók az alábbi oldalakon:

- https://www.irinyiverseny.mke.org.hu/: a Magyar Kémikusok Egyesülete Irinyi-oldala (innen letölthető a verseny története, a versenykiírás, az egyes fordulók feladatsorai és megoldókulcsaik, valamint fényképek)
- https://www.ttk.pte.hu/karunkrol/intezetek/kemiai-intezet/58-irinyi-janos-orszagos-kozepiskolai-kemiaverseny/: a Pécsi Tudományegyetem Irinyi-oldala (ahol elérhetők az írásbeli és a gyakorlati forduló feladatsorai és megoldókulcsa, a verseny elméleti és gyakorlati fordulójának összesített eredménye, fényképek, valamint információk a versenyhelyszínekről)

A verseny kiemelt támogatója volt a Richter Gedeon Nyrt., az Egis Gyógyszergyár Zrt., az EUROAPI Hungary Kft., a Servier Zrt. és a Pécsi Tudományegyetem Általános Orvosi Kara; a program részben a Kulturális és Innovációs Minisztérium megbízásából a Nemzeti Tehetség Program által meghirdetett NTP-TMV-M-25-B-0035 azonosító számú pályázati támogatásból valósul meg. Köszönjük a pécsi Tüke Busz Zrt. támogatását.

FOTÓK: CSONKA KRISZTINA)

A 2022-ben alapított és idén immár ötödik alkalommal odaítélt, legjobb szóbeli fordulós előadásért járó *Pálinkó István-díj*at a zsűri döntése alapján idén **Persaits-Pósa Ádám** (Szegedi Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium, felkészítő tanára: *Kiss László*) vehette át.

A verseny 9. és 10. osztályos Irinyi-díjasa 2026-ban a 9. osztályosok közül **Lajkó Linda** (Szegedi Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium, felkészítő tanára: *Dr. Regdon Ibolya*), a 10. osztályosok közül pedig **Desics Panni** (Budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, felkészítő tanára: *Rakota Edina*) lett.

FŐ TÁMOGATÓK

Kulturális és Innovációs Minisztérium
Nemzeti Tehetség Program
Richter Gedeon
Egis
euroAPI Active Solutions for Health
Servier moved by you
Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar

TÁMOGATÓK

Pannon Pharma Magyar Gyógyszergyártó
Wanhua
BorsodChem Chemistry for generations
ABL&E-JASCO Magyarország Kft.
Bálint Analitika
BVC Brainvisioncenter See something first
Merck
C.H.Erbslöh 1876
Reanal Labor Vegyszerkereskedelmi Kft.
Messer Gases for Life
Tüke Busz Együtt célba érünk!

Magyarfalvi Gábor – Szabados Ágnes – Tarczay György

Innovatív kémiaoktatás a jövő vegyészeinek – ELTE Kémiai Okoslabor – SuperSmartLab

Új korszak kezdődött a kémia- és a vegyészoktatásban a 2025. december 2-án az ELTE Kémiai Intézetében átadott SuperSmartLab megnyitásával. Az itt kialakított környezet nem csupán modern infrastruktúrát jelent, hanem tudatos szemléletváltást is: olyan oktatási modellt, amely a Z és az alfa-generáció tanulási igényeire épít, és közvetlen kapcsolatot teremt az akadémiai képzés és a vegyipar jövőbeli elvárásai között.

Az ELTE Kémiai Intézetében létrehozott SuperSmartLab egyértelmű válasz a vegyipar és a társadalom gyorsan változó igényeire. A célunk olyan innovatív oktatási környezet kialakítása volt, amely nemcsak korszerű tudást ad át, hanem új módon tanít: a hallgatókat aktív, digitális és adatvezérelt gondolkodásra ösztönzi, miközben a vegyipar által megkövetelt kompetenciák fejlesztését is középpontba helyezi.

A fotók az átadón és a labor használata közben készültek. A képen (balról jobbra): Scheuer Gyula, az ELTE kancellárja, Hankó Balázs kultúráért és innovációért felelős miniszter, Darázs Lénárd, az ELTE rektora, Kacskovics Imre, a TTK dékánja

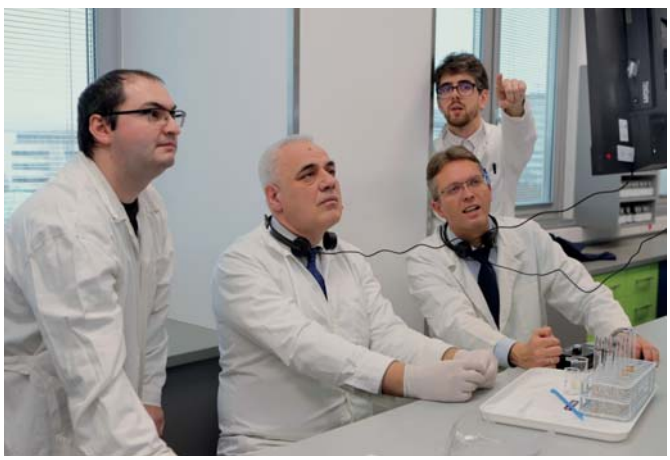
A SuperSmartLabban a hagyományos kémiai kísérletezés digitális és automatizált megoldásokkal egészül ki. A laborban alkalmazott wireless szenzorok és mérőműszerek, valós idejű adatgyűjtési és -feldolgozási rendszerek, valamint a mesterségesintelligencia-alapú támogatás lehetővé teszik, hogy a hallgatók ne csupán kísérleteket hajtsanak végre, hanem azonnali visszacsatolás mellett értelmezzék is az adatokat, megismerjék a digitális ikrek által nyújtott előnyöket is.

A labor egyik kiemelkedő eleme, hogy rendszerszinten integrálja a mesterséges intelligencia kémiai alkalmazásait az oktatásba. A hallgatók megismerik a nagy mennyiségű adatok elemzésének módszereit, az automatizált rendszerek működését, valamint azt, hogy hogyan kapcsolódik össze a kémia a modern digitális technológiákkal. Ez különösen fontos, hiszen a kutatás és az ipar egyre inkább adatvezérelt módon működik. A fejlesztésbe a hallgatók is aktívan bekapcsolódnak: az egyes műszerek és a számítógépes rendszerek közötti kommunikációhoz szükséges szoftverek részben hallgatói közreműködéssel készültek, így a fejlesztési folyamat maga is a képzés részévé válik. A laborgyakorlatok során pedig a résztvevők alkalmazás közben sajátítják el a programozási alapismereteket, például a Python használatát.

A tanulási környezet is alapvetően átalakul. A digitális mérésleírások mellett a kísérletek végrehajtását rövid videók egészítik ki. A laboratóriumi gyakorlat során az oktató egy kamerával felszerelt munkaállomáson be is mutathatja a kritikus lépéseket, biztosítva az egységes és jól követhető munkavégzést. A hall-

gatók QR-kódok segítségével azonnal hozzáférhetnek egy-egy vegyülethez kapcsolódó információkhoz, reakciókhoz és biztonsági adatlapokhoz, míg a laboreszközök azonosítását mesterséges intelligencián alapuló képfeldolgozó alkalmazások segítik. A laborjegyzőkönyvekkel a teljes digitalizáció felé mozdulunk el, már a hallgatói munka alatt is alkalmazva a FAIR adatkezelést. A jegyzőkönyvek értékelésében mesterségesintelligencia-alapú megoldások is szerepet kapnak. Jelenleg tesztelési fázisban van egy kémiai szempontból is értő chatbot, a HILDA, amelyet az ELTE Kémiai Intézete a Nyelvtudományi Intézettel közösen fejleszt. A közeljövőben további fejlesztések várhatók, többek között kiterjesztettvalóság-alapú alkalmazások, amelyek lehetővé teszik, hogy a kamera által látott képre a molekuláris szinten zajló folyamatok is rávetíthetők legyenek.

A labor létrehozása széles körű összefogás eredménye: a fejlesztés az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszköze (RRF), a magyar kormány és az ELTE támogatásával valósult meg, ipari partnereink – többek között a Richter Gedeon, a Lenovo, a Servier és a LabCup – hozzájárulásával. Az így létrejött infrastruktúra számos elemében világszinten is egyedinek tekinthető, különösen az oktatási, digitalizációs és automatizálási megoldások integrált alkalmazása révén.



A fejlesztés egyik alapelve az volt, hogy az oktatás ne csupán kövesse az ipari trendeket, hanem – ahol lehetséges – meg is előzze azokat. Ennek megfelelően a SuperSmartLab nem statikus infrastruktúra, hanem folyamatosan fejlődő rendszer. Az eddig elért eredmények fontos mérföldkövet jelentenek, de hosszú távú célunk, hogy a labor működését és módszertanát folyamatosan fejlesszük. A SuperSmartLab tehát nem csupán korszerű laboratórium, hanem dinamikusan fejlődő oktatási és innovációs platform, amely már ma a jövő vegyészeit és vegyipari szakembereit készíti fel a holnap kihívásaira, lehetőséget teremtve az ipar és az akadémiai szféra közös tudásformálására.

Kiemelt célunk, hogy a SuperSmartLab nyitott tudásközponttá, valódi „hub”-bá váljon, összekapcsolva az ipart, az innovációs szektort, az akadémiai kutatást, valamint a középiskolai oktatást és a pedagógusképzést. Ennek érdekében különösen fontosnak tartjuk az ipari partnerekkel való aktív együttműködést, és örömmel fogadunk minden szakmai javaslatot, közös fejlesztési lehetőséget és támogatást, amely hozzájárul a képzés valós ipari igényekhez illesztéséhez.

Várjuk azon partnereink jelentkezését, akik szakmai javaslatokkal, együttműködési lehetőségekkel, vagy akár a SuperSmartLab demóhelyként történő használatával, műszereik bemutatásával szeretnének hozzájárulni egy még kiemelkedőbb, egyedülállóbb képzési és innovációs környezet megteremtéséhez.

További információ: *http://ssl.elte.hu*

Egy TETT-történet elé

A Magyar Kémikusok Lapja 2026. évi májusi számának 145–146. oldalán Kiss Tamás beszámolt arról, hogy március 10-én immáron ötödik alkalommal adták át a Richter Gedeon Nyrt. a „TETT: Te és a Természettudományok – mesés történetek” pályázatának díjait. A pályázat weboldalánál (https://tettmesepalyazat.hu/) jobban aligha lehet megfogalmazni az alapcélt: „A TETT olyan mesés és történetíró pályázat, melynek célja, hogy segítse a diákok számára a természettudományok megszerettetését, a tudományok műveléséhez elengedhetetlenül szükséges íráskészség, a kreatív és egyben precíz gondolkodás alapjainak elsajátítását, képzeletük fejlesztését, alkotóerejük felfedezését, önmaguk jobb megismerését.” A Magyar Kémikusok Lapja 2023 áprilisában egy teljes különszámot is szentelt a TETT pályázatnak.

Vannak olyan mesék, amelyek nem gyermekeknek szólnak. Még akkor sem, ha esetleg egy fiatal írja. Az idei pályázati kiírásra érkezett egy ilyen történet. Természetesen ezt nem szabad beválogatni a TETT-mesekötetbe. Mivel kémiai tartalmú, szabad és célszerű azonban a *Magyar Kémikusok Lapja* olvasóival megosztani, ezt a következőkben meg is tesszük.

Amikor először olvastam az írást – akkor még a szerző nevének az ismerete nélkül –, ellenállhatatlan késztetést éreztem arra, hogy megkeressem, milyen személyes élmények ihlették. Szerencsére a történet legmegrázóbb része fiktív. De ettől a pszichológiai mondanivaló még nagyon is fontos és időszerű: kevesek fejében fordulhat meg ez a probléma, noha a jeleit azért elég rendszeresen lehet tapasztalni – bár ezt általában csak utólag, egy váratlan és kellemetlen esemény hatására ismerjük fel.

A szerző a kérésemre még azt is megtette, hogy egy picit átdolgozta a szöveget úgy, hogy kevésbé hasonlítson a valóságra. Ezt azért gondoltam fontosnak, hogy ellentétben az én első reakciómmal, senki ne próbáljon valós személyt vagy iskolát keresni mögötte.

Lente Gábor

Bencze Kinga

Egy közös álom

Minden olyan régen kezdődött. Kisiskolás voltam, mikor megismertem Benit, egy kedves, aranyos, visszahúzódó fiú osztálytársamat. Én is egy kedves, aranyos, visszahúzódó, ámde kissé makacs kislány voltam, így hát hamar barátok lettünk. Több közös dolog kötött össze vele, mint bárki mással; mindketten meg akartuk ismerni a körülöttünk lévő világot, de míg őt a természet szépsége nyűgözte le, addig engem a számok végtelen sokasága ejtett rabul.

Mindennap együtt élhettük át az újdonságok felfedezésének örömét: megvizsgáltuk a falevelekre hullt esőcseppek alakját, sokszögalapú homokvárakat építettünk és az összes olyan fát megmásztuk, melynek prímszámú ágai voltak. Persze az évszakok múlásának periódusa rajtunk is nyomot hagyott, de kalandvágyunk kiskamaszként csak még nagyobb lett: épületek magasságát becsültük meg hasonló háromszögek segítségével, ionokat vadásztunk, az órákon pedig citromlével írt titkos üzenetekkel kommunikáltunk, amiket rajtunk kívül senki se bírt megfejteni. Talán azért sem, mert senki sem volt Beninél jártasabb a hétköznapi kémia rejtelmeiben, és senki sem ismerte nálam jobban a valós számok halmazának zegzugait. Tudásunkkal messze kiemelkedtünk a többiek közül, bár engem nem vonzott úgy a kémia, mint Benit, és ugyanez fordítva; viszont mindig a lehető legnagyobb lelkesedéssel oszthattuk meg újonnan szerzett ismereteinket egymással, és ez tette barátságunkat szorosabbá egy háromszoros kovalens kötésnél.

A felvételi után azonban utunk elágazáshoz ért: Beni felvételt nyert egy elit gimnáziumba, ami ideálisnak helynek tűnt, hogy kövesse álmát és nagyszerű vegyész legyen; én pedig egy szintén jó hírű, de átlagosabb középiskolában folytattam tanulmányaimat. Ez kezdetben semmin sem változtatott, azt leszámítva, hogy nem tudtunk olyan gyakran találkozni; ugyanolyan szenvedélyesen űztük különös hobbijainkat és számoltunk be róla egymásnak. Sokat meséltünk új iskoláinkról, Beni pedig egyenesen el volt ragadtatva az új osztálytársaitól. Hogyne lett volna, hisz mindegyikük értette és szerette a természettudományokat, a tanórákon pedig valóságos tudományos eszmecseréket folytattak, mindenki megoszthatta saját tudásának egy részét egy-egy hozzászólással. Társai ezzel néha picit megijesztették Benit, mert sokszor tudtak olyat mondani, amiről a fiú nem hallott, vagy amit nem ismert. Például olyanokat, hogy a nitrocsoport dezaktiváló, meta irányító funkciós csoport, ami jelentős szempont különféle aromás vegyületek előállításánál. Ez már önmagában elég rémisztően hangzik, hát még a tudat, hogy ez senki más számára nem jelentett újdonságot. Bezzeg ő senkinek se tudott újat mondani … Aztán ott voltak a kémiaórák, Beni kedvencei, melyek maguk voltak a varázslat és a varázslás. A kémiatermet misztikus ködként lengte be a színek-szagok-hangok szinesztéziája, mely újabb és újabb varázslatra hívta a lelkes vegyésztanoncokat.

– Húúú, ha láttad volna azokat a szikrákat annál a termitreakciónál! … Tudtad, hogy a mangán-heptoxid mekkorát tud robbanni? … És titrálásnál mikor átcsapott az indikátor, olyan szép búzavirágkék színe lett! … Képzeld, egy kis kénsav csöppent a köpenyemre, és most van egy barna folt rajta! – avatott be a varázslásba tágra nyílt szemekkel, izgalomtól remegő fül- és orrcimpákkal, szenvedélytől fűtve, minden alkalommal, amikor találkoztunk. És a varázslat megtörtént, mert én is láttam magam előtt az indikátor búzavirágkék színét vagy a kénsav okozta barna foltot a blúzomon. De soha nem

cseréltem volna el a matematika se nem hangos, se nem szagos, sőt kifejezetten szürke varázslataiért, amit csak azok a beavatottak tudtak előidézni, akik tudták, hány fokkal kell elforgatni a geometriai alakzatokat, hogy kijöjjön a megoldás.

Találkozásaink száma azonban az idő múlásával sajnos exponenciálisan csökkent. Ahogy egyre idősebbek lettünk, úgy lett zsúfoltabb az órarendünk, kevesebb a szabadidőnk, tanáraink pedig egyre többet riogattak az érettségivel. Mindezek ellenére ugyanúgy tartottuk a kapcsolatot, és ugyanúgy beszámoltunk egymásnak mindenről, bár már egyikünk sem érzett különösebb izgalmat a másik hobbija iránt. A lelkesedést és az érdeklődést egy-egy hümmögés vagy „aha” váltotta fel, melyek már csak az egymás iránt érzett tiszteletet tanúsították. Nem csoda, hogy idővel a történeteink is rövidebbé, üresebbé és érzelemmentesebbé váltak. A kémiaórák színei elhalványultak, durranásai elhalkultak, a matematika pedig még szürkébb lett. Kiveszett a varázslat. Nem úgy, mint a problémáink, amelyek az évek alatt folyamatosan hatványozódtak, a sok dolgozat, tanulás és stressz mindkettőnket egyformán megviselt. Beni egyre elveszettebbnek érezte magát az osztályában, egyre távolabb került osztálytársaitól, és egyre inkább gondolta azt, hogy ő semmit se tud hozzájuk képest. Sokszor mesélte, hogy néhányan még nemzetközi versenyeken is részt vesznek, míg ő csak az országos versenyeken ért el sikereket, de így is rendre társai mögött végzett. Hangjában alig bírta palástolni a keserűséget, az arcán sötét vonások ültek, a szeme sem csillogott úgy, mint régen. Mikor kérdeztem, hogy ez zavarja-e őt, csak szomorúan ingatta a fejét, mondván, igen, de ezzel nem tud mit kezdeni. Olyan volt, mintha kénsav cseppent volna a büszkeségére, hátrahagyva egy barna foltot. Az a bizonyos folt pedig napról napra nőtt.

Őszintén, sohasem tudtam vele együtt érezni, hiszen hozzám képest irigylésre méltó helyzetben volt. Az ország egyik legjobb iskolájában tanult, kitűnő jegyekkel és kitűzött célokkal a további tanulmányait illetően. Fényes jövő várt rá, itthon gyakorlatilag bármelyik egyetemre felvették volna, és sok neves külföldi egyetemnél is jó esélyekkel indult. Ellenben velem, aki csak azt tudta, hogy szereti a matematikát, de ez önmagában nem jelentett túl sokat, így minden egyes felvételi pontért keményen meg kellett küzdenem. Ráadásul ötletem sem volt, hogyan tovább, a továbbtanulás gondolata is pánikot váltott ki belőlem. Ehhez képest Beni problémái jelentéktelennek tűntek, hisz miért számít az, hogy néhányan jobbak nálad, ha már úgyis biztosítva van a jövőd?

Akkor még nem tudtam, milyen érzés, mikor elveszik tőled azt, amiben eddig te voltál a legjobb, és ami csakis egyedül a tiéd volt. Nem tudtam, milyen érzés „csak” okosnak lenni a zsenik között, úgy versenyezni, hogy az eredmény már eldőlt, és folyton annak lenni, aki rákérdez a mindenki más számára egyértelmű dolgokra. Nekem mindig ott volt a matematika teljes egésze, Beninek viszont olyanokkal kellett osztozkodnia a kémián, akik az ő fejében sokkal méltóbbnak bizonyultak rá. Neki a végén már csak egy-egy morzsa maradt, amit újra és újra kicsavartak a kezéből.

Egyszer, utoljára, még lángra lobbant a tűz, ami annyi éven keresztül táplálta barátságunkat és vezetett minket megannyi közös kalandra. Ez pedig a legutolsó alkalommal történt, mely során – miután kellően kipanaszkodtuk magunkat –, Beni megemlítette a Schrödinger-egyenletet. Erre felkaptam a fejem: Schrödinger-egyenlet!? Eddig azt hittem, hogy az az ember a macskájáról volt híres, nem? Ekkor Beni nevetve kezdett el mesélni a Schrödinger-egyenletről és az alkalmazásához szükséges matematikai operátorokról, amelyek segítenek leírni a Hilbert-tér állapotait.

– Ez a Hilbert-tér pedig egy végtelen dimenziós lineáris tér, ahol elképesztően izgalmas dolgok történnek… – folytatta Beni csillogó szemekkel, remegő fül- és orrcimpákkal.

Hirtelen magába szippantott a Hilbert-tér, ettől a pillanattól fogva számomra már csak Beni és a kvantumkémia létezett. Órákon át beszélgettünk az elektronok energiájának kvantáltságáról, a nukleonok közti magerőről, hullámfüggvényekről, a relativitáselméleten keresztül visszajutva a kvantumkémia és -fizika kezdetéig: az elektron felfedezéséhez. A kvantumkémia számomra maga volt a tökély, a matematika és a kémia tökéletes ötvözete, melyben az atomi világ bármelyik részét le lehet írni a megfelelő egyenlettel. Beni pedig tökéletes kutatótársként ugyanakkora lelkesedéssel fejtegette az univerzum entrópiájának változását, mint Stephen Hawking. Egy álom született meg a fejemben, egy közös álom, amelyben mi ketten a kvantumkémia rejtelmeit kutatjuk, olyan kérdésekre keresve a választ, amelyet előttünk sok-sok híres kutató vagy tudós is keresett. Bár az entrópia-kérdésre a választ nem találtuk meg, én megkaptam a saját kérdésemre a választ.

– Kvantumkémikus szeretnék lenni! És együtt kutathatnánk, te és én! – kiáltottam fel, az izgalomtól teljesen kipirosodva, lobogó lánggal a szememben.

Erre Beni hirtelen lefagyott, gondolatmenete megszakadt, arca elkomorult. Nem értettem, mi történt, ő pedig zavartan tördelte a kezét. Ekkor mintha az egész világ megállt volna egy pillanatra. Némán, szinte szoborrá dermedve ültünk és néztük egymást hosszú percekig. Majd Beni szólalt meg halkan, de szavai ordítottak a letörtségtől.

– Ugyan már, ez teljesen képtelenség.

– De hiszen te vegyész akarsz lenni! Egész életedben erről álmodtál! – válaszoltam kétségbeesetten.

– Nem lesz belőlem vegyész sohasem, ahhoz nem vagyok elég jó. Én laboráns leszek – felelte Beni teljesen megsemmisülten.

A Hilbert-tér megszűnt létezni, és visszatértünk a valóságba. Rápillantottam Benire. Szemei már nem csillogtak, fül- és orrcimpái már nem remegtek többé az izgalomtól. Csak az arcáról tükröződő üresség volt olyan mély, mint az univerzum. Még egy darabig beszélgettünk, de a tűz kihunyt, csak a problémáink maradtak meg. A kvantumkémiáról pedig nem beszéltünk soha többet.

A mai napig pontosan emlékszem annak a bizonyos őszi napnak az összes mozzanatára. Minden perc olyan élénken él bennem, mintha csak tegnap lett volna. Szinte érzem a csípős reggeli szelet, amely undokul beférkőzött a kabátom alá, így teljesen átfagyva, kipirosodott orral és elgémberedett ujjakkal érkeztem aznap iskolába. A nyári napsütést hideg, nyomasztó köd váltotta fel, az emberek pedig fáradtan és idegesen tolongtak a zsúfolt metróban. A szomorú időjárás ellenére ez is teljesen átlagos iskolanapként indult, de nem úgy végződött, mint a többi. Aznap valami örökre megváltozott… A harmadik órám éppen kémia volt, az előtte lévő szünetben pedig a kémiaterem melletti hirdetőtáblánál egy kisebb tömeg verődött össze. Ez meglepett, ugyanis általában errefelé nem szokott nyüzsgés lenni, ezért én is arra vettem az irányt, hogy megtudjam, mi ez a nagy felhajtás. Kiderült, hogy egy külföldi kutatóközpont nyári kutatási programot indított tehetséges, természettudományos érdeklődésű diákok számára. A program lehetőséget nyújtott a diákok önálló kutatására, ezt elolvasva pedig egyre mohóbban faltam a betűket egészen addig, ameddig meg nem láttam a „kvantumkémia” szót. Igen! Lehet egy saját kvantumkémiai kutatásunk! Ismét körvonalazódni kezdett bennem a közös álmunk, amelyet azóta sem

adtam fel magamban, reménykedve, hogy Beni letörtsége elmúlik és meggondolja magát. Most itt volt a várva várt alkalom, amit nem szabadott elszalasztani. Ettől fogva már nem bírtam semmire koncentrálni, fejben újra a Hilbert-térben jártam, ahol Benivel a kvantumkémia rejtelmeit kutattuk. Hazafelé végig rá gondoltam, az izgalomtól csillogó szemeire, a remegő fül- és orrcimpáira. De a lakásajtón belépve édesanyámat teljesen összetörve, sírva találtam.

– Úristen, mi történt? – kérdeztem, szinte sokkos állapotban.

– Jaj, kicsim, én úgy sajnálom … Nem tudni, mi történt és miért tette … De Beniből már soha nem lesz vegyész.

A közös álmunk atomjaira hullott, és diszpergálódott a szoba összes szegletébe. De már nem volt kivel újjáépíteni.

A valóság még hetek múltán is lidércnyomásként nehezedett rám. Nem akartam felfogni, nem akartam elhinni azt, ami történt. Próbáltam annyira elszakadni a jelentől, amennyire lehetett, az órákon szótlanul gubbasztottam, a folyosókon pedig sietve, lehajtott fejjel közlekedtem a tantermek között. Az iskolában egyedül csak a matematika tudott némi vigaszt nyújtani, de ez sem volt elég ahhoz, hogy betöltse a lelkemben keletkező fekete lyukat, amely elnyelte az összes valaha érzett örömömet a természettudományok iránt. Különösen a kémiaórák fájtak, és bár igyekeztem mindent megtenni, hogy elkerüljem a kémiatermet, a tanórák elől nem tudtam elmenekülni. Az egyik ilyen óra előtt kapucnival a fejemen, a kedvenc könyvembe temetkezve ültem a folyosón. Észre se vettem a felém közelítő kémiatanárnőmet, aki az előző osztállyal íratott dolgozatok között egy vaskos könyvet fogott. Odalépett hozzám, majd kedvesen megszólított, mire összerezzentem. A következő pillanatban kezembe nyomta a vaskos könyvet, melynek a borítójára csak három szó volt írva:

MINDENT A KVANTUMKÉMIÁRÓL

Egyből visszaadtam neki.

– Köszönöm, de már nem érdekel a kvantumkémia.

Erre ő csak nézett rám bánatosan és kissé meghökkenve. Egy darabig még néztük egymást, míg tekintetem véletlenül a kutatási programot hirdető plakátra nem tévedt. Ő elkapta a tekintetemet, mindössze ennyit fűzve hozzá:

– Szerintem jelentkezned kellene rá. És tartsd meg ezt a könyvet is, mert később jól fog jönni – azzal újból a kezembe nyomta, rám mosolygott és elsietett.

Ott ültem egyedül, a fal tövében, kezemben a vaskos könyvvel.

– Mindent a kvantumkémiáról – mormoltam magamban, mint egy varázsigét.

Ekkor furcsa érzés kerített hatalmába, egy hang a fejemben pedig azt súgta, mégsem vagyok annyira egyedül. Azóta sem tudom, hogy pontosan mit éltem át, mintha egy újabb varázslat vagy csoda történt volna … A bennem lévő fekete lyuk zsugorodni kezdett, a közös álmunk képe visszatért, betöltve az űrt, átjárva a testem minden porcikáját. Tudtam, hogy nem adhatom fel. Már csak az ő emlékéért sem. Hirtelen felpattantam, letéptem egy jelentkezési lapot, és elszaladtam vele.

Kezemben még mindig ott szorongattam a vaskos könyvet.

European Chemical Societies Publishing

Chemistry Europe

www.chemistry-europe.org

Chemistry Europe

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

Chemistry Europe
European Chemical Societies Publishing

published in partnership with WILEY VCH

Kun Róbert – Pálinkás Gergely István – Schmidtka Gábor

A hazai akkumulátorcella-gyártásból származó hulladékok jogi helyzete, jellege és mennyiségi viszonyai

A magyarországi lítiumion-akkumulátorcella- és -komponensgyártás aktuális helyzete

Az akkumulátorkomponens- és -cellagyártó iparág Magyarországon az elmúlt években látványos növekedésnek indult. A sajtóban többször említett távol-keleti eredetű akkumulátorcella-gyártó vállalatok mellett számos, úgynevezett akkumulátorkomponens-gyártó is megkezdte tevékenységét hazánkban. Ennek eredménye, hogy lényegében a lítiumion- (Li-ion-) akkumulátorokban felhasznált, elektrokémiai értelemben aktív és inaktív komponensek szinte valamennyi típusát elkezdték gyártani vagy hamarosan megindul ezen komponensek viszonylag nagyobb volumenben történő előállítása. Többek között gyártanak hazánkban fém hordozófóliákat (Al, Cu), polimer kötőanyagot (pl. CMC), poliolefinalapú szeparátorfóliát, elektrolitoldatot kevernek kész összetételre, valamint a cella és a modul vagy pakk készítéséhez szükséges egyéb fém- és nemfémes komponenseket tartalmazó alkatrészeket. Ezen túlmenően hamarosan katódaktívanyag-gyárak kezdhetik meg a nagy volumenű termelést két helyszínen. Az akkumulátorpiacot érintő keresleti fluktuációk értelemszerűen befolyásolják a komponensgyártás volumenét is, jóllehet iparági háttérbeszélgetések során a gyártók (cella és komponens) az iparág rövid időn belüli komolyabb felfutásával számolnak.

A Li-ion-akkumulátorok előállítása során számos melléktermék, hulladékáram, ezen belül veszélyes és nem veszélyes hulladék keletkezik a különböző gyártási fázisok során. Ideértendők tehát valamennyi komponens-, majd akkumulátorcella-gyártás esetében az elektródgyártás, a cellák összeszerelése és a cellák elektrokémiai formázási lépése során keletkező hulladékfajták is. E hulladéktípusok minőségi és mennyiségi ismerete kulcsfontosságú az iparág potenciális környezeti hatásainak megismerése, illetve adott esetben mérséklése, valamint a biztonságos hulladékkezelés biztosítása érdekében. Fontos szempont, hogy megismerjük valamennyi akkumulátor-értékláncban köthető hulladékáramot, ugyanis ezek gyűjtése, kezelése, hasznosítása mind gazdasági, mind környezetvédelmi, mind fenntarthatósági szempontok miatt rendkívüli fontosságú. 2025-ben a Magyar Akkumulátor Szövetség gondozásában elkészült egy átfogó tanulmány, melyben a 2023. évre (mely lezárt teljes évnek minősül a tanulmány készítése idején) vonatkozólag részletesen vizsgálták, hogy hazánkban az akkumulátor-értékláncban érdekelt gazdasági társaságok tevékenysége során mely hulladékáramok keletkezésével kell számolni, és figyelembe véve a társaságok által megadott és jelentett mennyiségeket, ezek feldolgozása, ártalmatlanítása, újrahasznosítása megoldott-e Magyarországon[1]. Ezek az adatok és információk az érintett gazdálkodó szervezetek adatszolgáltatásaiból, hulladékgazdálkodási engedélyeiből, egységes környezethasználati engedélyeiből, engedélyezési dokumentációiból származnak. Megjegyzendő, hogy a kvalitatív és kvantitatív elemzés alapjául a Li-ion-akkumulátorkomponens- és -cellagyártók által lejelentett és az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (OKIR) Egységes Hulladékgazdálkodási Információs Rendszer (EHIR) moduljában található hulladékmennyiségi adatokat használták fel. Az elemzés hulladékazonosító kódonként történt, és ezeket a mennyiségi adatokat összesítették az említett tanulmányban. Fontos lehet megjegyezni, hogy a hulladékjegyzékről szóló 72/2013. (VIII. 27.) VM rendeletben alkalmazott hulladéktípusok az Európai Unióban mindenhol egyformán alkalmazandóak, és ennek alapján bizonyos esetekben nem volt lehetséges a keletkező hulladékok precíz azonosítása. Lényeges, hogy az Európai Bizottság 2025. március 5-én elfogadta a hulladékjegyzékről szóló 2000/532/EK határozat módosítását, amely tartalmazza a lítiumion-akkumulátorok hulladékainak önálló hulladékazonosító kódjait (HAK-kódjait), valamint a hulladékakkumulátorok kezeléséből származó hulladékokra meghatározott új hulladékazonosító kódokat is. Ez a határozat 2026. december 9-től alkalmazandó, ami maga után vonja a hazai jogszabályi környezet, valamint a hulladékkezelési engedélyek módosítását, de indokolt esetben átmeneti időszak biztosításával a határidő hosszabbítható.

A termelési hulladékok és a kiterjesztett gyártói felelősségi rendszer hatálya alá tartozó körforgásos termékek és hulladékaik

A gyártási folyamatok során képződő hulladékáramok kapcsán érdemes megjegyezni, hogy a hulladékokról szóló 2008/98/EK irányelv módosításáról szóló, 2018. május 30-i (EU) 2018/851 eu-

[1] https://www.hu-ba.hu/wp-content/uploads/2025/06/Akkumulator-ujrahasznositas-es-kapcsolodo-veszelyeshulladek-kezeles-Magyarorszagon_Muhelytanulmany_2025.06.06.pdf

rópai parlamenti és tanácsi irányelv rendelkezései alapján a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvénybe (Ht.) épített minimumkövetelmények részletszabályait tartalmazó, a kiterjesztett gyártói felelősségi rendszer működésének részletes szabályairól szóló 80/2023. (III. 14.) kormányrendelet értelmében az akkumulátorgyártás során keletkező gyártási selejt és egyéb hulladékáramok nem tartoznak a hulladékgazdálkodási koncesszió hatálya alá, ezek a termelési hulladék kategóriába tartoznak. Ennek magyarázata, hogy ezek a „gyártásközi selejt" hulladékok nem körforgásos termékből keletkeznek (azaz nem a már forgalomba hozott akkumulátorcella, -modul, -csomag egységekből származnak), mivel *de facto* nem jött létre a körforgásos termék, amelyből hulladék képződhetett volna. Tehát a kiterjesztett gyártói felelősségi rendszerrel abban az esetben érintettek az akkumulátorhulladékok, ha azokat Magyarország területén hozták forgalomba, majd valamilyen ok folytán hulladékká váltak (pl. használt elektromosautó-akkumulátor vagy elektronikai termékek amortizációs akkumulátorai). Ezért az akkumulátorgyártás, valamint az amortizációs (életciklus végi) akkumulátorok esetében más irányító elvek szerint kezelik, ártalmatlanítják, hasznosítják a hulladékokat.

Az egyik esetben, amikor a „gyártásközi selejt" akkumulátorok kezeléséről kell gondoskodni, akkor a Ht. 31. § (2) bekezdés b) pontja szerint kell eljárni. Ennek értelmében ezek nem tartoznak a koncesszió hatálya alá, hanem annak megfelelő kezeléséről a hulladékbirtokosnak, hulladéktermelőnek kell gondoskodnia – amennyiben engedéllyel rendelkezik, saját magának vagy megfelelő engedéllyel rendelkező hulladékkezelő partnernek. A gyártási hulladék kezelése és lehetőség szerinti hasznosítása tagállamon belül, de akár külföldön is megvalósulhat. Szintén érdemes megjegyezni, hogy ezeknek a hulladékkoncesszió hatálya alá nem eső akkumulátorcella- és alapanyaggyártás során keletkező hulladékoknak a feldolgozása nem kizárólag Magyarországon történhet, hanem külföldön is megvalósulhat, figyelemmel a közelség elvére, a rendelkezésre álló hazai kapacitásokra, illetve a hulladékkezelés költségeire. Külföldi kezelésre történő kiszállításról 2026. május 20. napjáig a hulladékszállításról szóló, 2006. június 14-i 1013/2006/EK Európai Parlament és a Tanács rendelet (a továbbiakban: EK rendelet), 2026. május 21. után a hulladékszállításról szóló (EU) 2024/1157 rendelet előírásai az irányadóak, azaz minden új bejelentést és engedélykérelmet már az új szabályok szerint kell benyújtani.

Az amortizációs (életciklus végi) akkumulátorok esetében más a helyzet. A magyar specialitásnak tekinthető hulladékgazdálkodási koncessziós rendszerben a koncessziós társaság köteles a kiterjesztett gyártói felelősségi rendszer (*EPR, azaz extended producer responsibility*) alá tartozó hulladék – így az első magyarországi forgalomba hozatallal érintett lítiumion-akkumulátorok hulladékainak – átvételéről, gyűjtéséről, szállításáról, előkezeléséről és további kezelésre történő átadásáról gondoskodni. Megjegyezzük, hogy a hasznosításra nem terjed ki a koncessziós rendszer, azonban a hasznosítást végző gazdálkodó szervezetek a koncessziós körbe tartozó hulladékokat – így a hulladékká vált lítiumion-akkumulátorok is – kizárólag a koncessziós társaságtól vagy alvállalkozójától szerezhetik be.

A lítiumionakkumulátor-cella gyártása során keletkező hulladékok rövid bemutatása[2]

A lítiumion-akkumulátorok gyártása során számos melléktermék, veszélyes és nem veszélyes besorolású hulladék keletkezik a cellagyártás különböző fázisai során. Ezek a gyártási fázisok 1) az elektródgyártás, 2) a cella-összeszerelés és 3) a cellák elektrokémiai formázása. A felsorolt folyamatok során keletkező hulladéktípusok megismerése kulcsfontosságú a környezeti hatások mérséklése és a biztonságos kezelés szempontjából is. A lítiumion-akkumulátorok gyártása során keletkező nem veszélyes és veszélyes hulladékok kezelése pedig létfontosságú a fenntartható termelési gyakorlatok és a környezeti hatások minimalizálása szempontjából.

■

[2] Felhasznált anyagok:
1) SK ON Hungary Kft. Előzetes Vizsgálati Dokumentáció – 2023. július (Generisk Kft.)
2) Contemporary Amperex Technology Hungary Kft. Akkumulátorgyártó üzem Debrecen, Környezeti hatásvizsgálati és egységes környezethasználati engedélyezési dokumentáció – 2022. november 28. (Enviprog Group Kft.)
3) Samsung SDI Magyarország Zrt. Biztonsági jelentés nyilvános változat – 2022. november (Generisk Kft.)
4) www.okir.hu

Az első gyártási fázist (*elektródgyártás*) tekintve Magyarországon *jelenleg* az alkalmazott gyártási technológiák esetén katód- és anódgyártás során jellemzően nagy mennyiségű és többféle típusú hulladék keletkezik. A folyamatos és gyors technológiai fejlődés miatt a felhasznált anyagok és ezáltal a keletkező hulladékok összetétele kisebb mértékben folyamatosan változik. Elképzelhető, hogy már a következő néhány éven belül újabb gyártástechnológiák megjelenése esetén vagy újabb akkumulátorkémiák bevezetése miatt részben eltérő anyagösszetételű hulladékáramok fognak keletkezni.

A jelenlegi gyártási helyzetet elemezve látható, hogy a negatív elektród (a cella kisütésekor az „anód") gyártása során keletkezik az úgynevezett anódiszap, illetve ennek hulladéka. Ez jellemzően sötétszürke, fekete színű, iszapszerű vagy magas viszkozitású folyadék, melynek fő összetétele korom, grafit, oldószer (mely ultratiszta víz), kötőanyag (ez jellemzően karboximetil-cellulóz (CMC), vagy sztirol-butadién gumi (SBR)) és egyéb adalékok. A hulladékok HAK-kód szerinti besorolása a termelő cég feladata és felelőssége, ezért az alábbiakban megadott kódok hivatalos adatszolgáltatásokon és piaci tapasztalatokon alapulnak. Az anódiszap-hulladék jellemző HAK-kód-besorolása a következő: „06 Szervetlen kémiai folyamatból származó hulladék 13 közelebbről meg nem határozott, szervetlen kémiai folyamatokból származó hulladék 99 közelebbről meg nem határozott hulladék." Az anódiszappal szennyezett berendezések mosása, tisztítása során keletkezik az „anódos mosófolyadék", mely sötétszürke vízbázisú folyadék, egyéb összetevői: korom, grafit por, víz és CMC vagy SBR kötőanyag, illetve egyéb adalékok. Jellemző HAK-kód-besorolása szintén „HAK 06 13 99".

A pozitív elektród esetében keletkező hulladék (lásd „katódiszap") megjelenését illetően szintén jellemzően sötétszürke, fekete színű, iszapszerű vagy magas viszkozitású folyadék, melynek fő összetevői a korom, az NMC (lítium-nikkel-mangán-kobalt-oxidok), a szerves oldószer, ami NMP, azaz N-metil-2-pirrolidon, valamint a kötőanyag, amely jellemzően polivinilidéndifluorid (PVdF) vagy poli(tetraflouretilén) (PTFE), de ezen túlmenően egyéb adalékok is megjelenhetnek alacsony koncentrációban. Ez a hulladékfajta veszélyes hulladéknak minősül és jellemző HAK-kód-besorolása: „06 Szervetlen kémiai folyamatból származó hulladék 03 sók és oldatai, valamint fémoxidok termeléséből, kiszereléséből, forgalmazásából és felhasználásából származó hulladék 15* nehézfémeket tartalmazó fémoxid." A pozitív elektród bevonatolása után, a szárítási folyamatban keletkezhet NMP-vel szennyezett víz. Ez általában a gázmosókból származó, magas NMP-tartalmú vizet jelenti a gyakorlatban. Szintén veszélyes hulladéknak minősül, jellemző HAK-kód-besorolása: „16 Hulladékjegyzékben közelebbről nem meghatározott hulladék 10 a képződés telephelyén kívül történő kezelésre szánt vizes folyékony hulladék 01* veszélyes anyagokat tartalmazó vizes folyékony hulladék."

A berendezések, például keverőüstök tisztítása során keletkezik a katódiszappal szennyezett mosófolyadék. Az előbbiekhez hasonlóan ez a hulladék is sötétszürke színű, NMP-bázisú folyadék, melynek egyéb összetevői a korom NMC (lítium-nikkel-mangán-kobalt-oxidok), a PVDF vagy PTFE kötőanyag és az említett egyéb adalékok. Nehézfémtartalma miatt ez is veszélyes hulladék, jellemző HAK-kód-besorolása az NMP-vel szennyezett vízhulladékhoz hasonlóan „HAK 16 10 01*".

Ezen túlmenően a gyártás során a szennyezett levegő tisztítására jelentős mennyiségű adszorbenst alkalmaznak, mely szennyezett adszorbenshulladékként jelenik meg a gyártási folyamatban. Ezek főként NMP-vel szennyezett aktív szén adszorbensek, melyek jellemzően veszélyes hulladékok, jellemző HAK-kód-besorolásuk: „15 Csomagolási hulladék, közelebbről meg nem határozott felitató anyagok (adszorbensek, törlőkendők, szűrőanyagok és védőruházat 02 abszorbensek, szűrőanyagok, törlőkendők és védőruházat 02* veszélyes anyagokkal szennyezett abszorbensek, szűrőanyagok (ideértve a közelebbről meg nem határozott olajszűrőket), törlőkendők, védőruházat." Ugyanakkor keletkezhet nem veszélyes hulladék besorolású adszorbens hulladék is, melynek HAK-kódja: 15 02 03 abszorbensek, szűrőanyagok, törlőkendők, védőruházat, amely különbözik a 15 02 02*-től.

A negatív és pozitív elektródfóliák minőség-ellenőrzés során selejtezésre kerülhetnek, amiből különösen a gyártás próbaüzemi, kezdeti fázisában jelentős mennyiségű hulladék keletkezhet.

A negatív elektródfólia-hulladék anyagösszetétele jellemzően a rézfólia, melyre vékony rétegben kötőanyaggal anód aktív anyagot (grafit, korom) vittek fel. Jellemző besorolása HAK 06 13 99, melyet az anódiszap-hulladék esetében is alkalmaznak. A pozitív elektródfólia-hulladék anyagösszetételére leginkább jellemző az alumíniumfólia, melyre vékony rétegben kötőanyaggal felvitt katód aktív anyag kerül (NMC, korom). Jellemző HAK-kód-besorolása a katódiszap-hulladékhoz hasonlóan HAK 06 03 15*. A negatív és pozitív elektródfóliák méretre szabásakor keletkezik az ún. notching (vágási hulladék), melynek jellemző HAK-kód-besorolása a fentebb már megismert HAK 06 03 15*, és ugyanezen kód alatt szerepelhet az a „száraz” akkumulátorcella-hulladék, melyet az elektrolitoldattal történő feltöltés előtt a minőségellenőrzésen kiselejteztek.

Amennyiben egy akkumulátorcella az elektrolitoldat betöltése után bizonyul selejtnek, akkor ezt bontatlan cellahulladéknak nevezzük; ez tehát elektrolit oldattattal már feltöltött, de már fizikailag lezárt cella. Jellemző HAK-kód-besorolása: „16 A hulladékjegyzékben közelebbről meg nem határozott hulladék 06 elemek és akkumulátorok 05 egyéb elemek és akkumulátorok.” A HAK 16 06 05 kód alá eső selejtcellákat több gyártó már a telephelyén előkezeli. A folyamat során a cellatasakot megbontják, a sérült cellát sóoldatba helyezik, a cella elektromosan mélykisütésen megy keresztül, és a folyamat során a korábban cellába töltött elektrolitoldat a sóoldatba kerül.

A bontott cella, illetve a vizes kisütésen átesett semlegesített cella veszélyes hulladék. Jellemző HAK-kód-besorolása eltérő a zárt cellákétól, azaz „16 A hulladékjegyzékben közelebbről meg nem határozott hulladék 02 elektromos és elektronikus berendezések hulladéka 15* kiselejtezett berendezésből eltávolított veszélyes anyag”, de besorolásra kerülhet mint „06 A hulladékjegyzékben közelebbről meg nem határozott hulladék 03 sók és oldatai, valamint fémoxidok termeléséből, kiszereléséből, forgalmazásából és felhasználásából származó hulladék 15* nehézfémeket tartalmazó fémoxid”. Megjegyzendő ez estben, hogy nincs egységes besorolás, gyártókként eltérő lehet.

Az imént említett vizes kisütés eredményeként elektrolitoldattal szennyezett tömény sóoldat (kisütési víz) keletkezik. A kisütési folyamat során a leginkább használt nátrium-klorid-tartalmú sóoldat idővel elektrolitoldattal telítetté válik, így cserélni kell. A keletkező hulladékvíz értelemszerűen veszélyes hulladék. Jellemző HAK-kód-besorolása: „16 A hulladékjegyzékben közelebb-

1. táblázat. Katód- és anódgyártáshoz kapcsolódó hulladékok

1. Nyersanyag-bányászat/ Másodnyersanyag-visszaforgatás	2. Nyersanyag-finomítás	3. Katód- és anódszuszpenzió-előállítás	4. Bevonatolás	5. Hengerlés	6. Méretre szabás	
ércek: lítium, nikkel, obalt, alumínium, mangán, réz másodnyersanyagok: fémsók és oxidok	lítium-hidroxid, lítium-karbonát, kobalt-szulfát stb.	Katód és anód aktív anyagporok és oldószer (NMP), adalékanyagok keveréke	Katód esetén az NMC- vagy LFP- tartalmú katódiszap alumínium-fóliára, a grafittartalmú anódiszap rézfóliára vékony rétegben kerül, majd szárítással az oldószert és a maradék vizet elpárologtatják, a ragasztó megköt.	Az anód- és katódlemezeket hengerlik egyenletes réteg-vastagság elérése céljából.	Az anód- és katód-szalagokat megfelelő méretre szabják, szélezik, kialakítják a csatlakozó-füleket.	
		Hulladéktípus	HAK		Hulladéktípus	HAK
Magyarországon nem releváns	Magyarországon nem releváns	anódiszap	061399		notching – katód- és anódvágási hulladék	060315*
		katódiszap	060315*		selejtkatód	061399
		NMP-vel szennyezett víz (gázmosó)	161001*		selejtanód	060315*
		katódos mosófolyadék (NMP+NMC)	161001*			
		Anódos mosóvíz (magas korom-, grafén-, CMC- vagy SBR-tartalommal)	061399			
		szennyezett adszorbensek	150202*			
		szennyezett adszorbensek	150203			

2. táblázat. Az akkumulátorcella-gyártásból származó hulladékok

7. Hajtogatás, tekercselés	8. Hegesztés és cella-összeszerelés, csomagolás		9. Szárítás és feltöltés		10. Öregítés, tesztelés	
Az anód-, szeparátor- és katódfóliákat meghatározott rétegszámmal egymásra rétegezik, kötegelik hengeres, prizmás vagy tasakos kialakításban.	Cellafülek összehegesztése adapterekkel, adapterek és cellazárók összehegesztése, cella becsomagolása, burkolása.		Végső szárítás, melyet elektrolittal történő feltöltés követ.		Öregítés során a cellákat töltési és kisütési ciklusokkal aktiválják, kialakul a SEI réteg. Tesztelés	
	Hulladéktípus	HAK			Hulladéktípus	HAK
	selejtcella – száraz	060315*	elektrolitos mosófolyadék	161001*	selejtcella (bontatlan)	160605
					selejtcella kisütési víz (elektrolittal szennyezett tömény sóoldat)	190211* vagy 161001*
					selejtcella bontott, vizes vagy száraz kisütés	060315* vagy 160215*
					szennyezett adszorbensek	150202*
					szennyezett adszorbensek	150203

3. táblázat Az akkumulátorcella-összeszerelés folyamatából származó hulladékok

11. Modulok összeszerelése	12. Akkumulátorpakk összeszerelése	13. Tesztelés és minőség-ellenőrzés	
A cellákat összekötik, modulokká építik össze.	A modulokat összekötik, megfelelő méretű és kapacitású akkumulátorpakká építik össze.	Az akkumulátorokat szigorú teszteknek vetik alá, beleértve a kapacitás, teljesítmény, hőstabilitás és biztonság ellenőrzését.	
		Hulladéktípus	HAK
		selejtakkumulátor (bontatlan)	160605
		selejtakkumulátor kisütési víz (elektrolittal szennyezett tömény sóoldat)	190211* vagy 161001*
		selejtakkumulátor (bontott)	060315* vagy 160215*

ről meg nem határozott hulladék 10 a képződés telephelyén kívül történő kezelésre szánt vizes folyékony hulladék 01* veszélyes anyagokat tartalmazó vizes folyékony hulladék", de besorolásra kerülhet mint „19 Hulladékkezelő létesítményekből, a szennyvizet képződésének telephelyén kívül kezelő szennyvíztisztítókból, valamint az ivóvíz- és iparivíz-szolgáltatásból származó hulladék 02 hulladék fizikai kémiai kezeléséből (pl. krómtalanítás, ciántalanítás, semlegesítés) származó hulladék 11 veszélyes anyagokat tartalmazó egyéb hulladék". Ezen hulladékfajta esetében sincs egységes besorolás, gyártókként eltérő lehet.

A vizes kisütési eljárás helyett környezeti szempontból kedvezőbb a „száraz", azaz pusztán elektromos lemerítés, mivel ezt a mélykisütési módot használva nem keletkezik jelentős mennyiségű folyékony hulladék. A száraz kisütésből származó cella- és akkumulátorhulladékok lehetséges besorolása: „16 A hulladékjegyzékben közelebbről meg nem határozott hulladék 02 elektromos és elektronikus berendezések hulladéka 13* veszélyes anyagokat tartalmazó kiselejtezett berendezés, amely különbözik a 16 02 09-től 16 02 12-ig terjedő hulladéktípusoktól."

Egy további gyártási lépésben is keletkezhet elektrolitoldattal szennyezett mosófolyadék. Ez abban a folyamatban keletkezhet, amikor az akkumulátorcella elektrolitoldattal történő feltöltése során a cella kívülről elektrolittal szennyeződik (pl. túlfolyás), amit jellemzően vizes mosással tisztítanak. A keletkező elektrolitoldattal szennyezett víz veszélyes hulladék, jellemző HAK-kód-besorolása az előbbiekben megismert HAK 16 10 01*.

A cellagyártás során keletkező gázok megkötésére adszorbenseket használnak, melyek telítődést követően hulladékká válnak, veszélyességüktől függően HAK 15 02 02* vagy HAK 15 02 03 HAK-kód-besorolást kapnak.

A cellák modulokká, majd akkupakká történő összeépítése, minőség-ellenőrzése során keletkező hulladék a selejtakkumulátorok és azok kezelésének hulladéka. Bontatlan akkumulátorhulladék esetében, ami az összeépített, fizikailag zárt selejtakkumulátort jelenti, a jellemző HAK-kód-besorolás szintén HAK 16 06 05, hasonlatosan a bontatlan cellahulladékhoz. Ugyanakkor a sérült, bontott akkumulátorhulladék ismételten a HAK 16 02 15*, lásd bontott, illetve vizes kisütésen átesett semlegesített cella, de ugyanúgy érvényes lehet a HAK 06 03 15*, és meg kell jegyeznünk, hogy ez esetben sincs egységes besorolás, ez gyártókként ismét eltérő lehet. A jelenleg alkalmazott gyakorlat szerint a selejtakkumulátorokat több gyártó már a telephelyén előkezeli. A folyamat során a selejtakkumulátorokat lemerítik, cellákra bontják, a cellákat a fentebb leírtak szerint kezelik (vizes semlegesítés, cellanyitás).

A fenti gyártási részfolyamatok során keletkező hulladékokat rövid jellemzéssel és a jellemző, használatban lévő HAK-kódok feltüntetésével az **1–3. táblázatban** foglaltuk össze.

Az akkumulátorcella-gyártásból származó hulladékok mennyiségi elemzése

Fentebb bemutattuk az egyes cellagyártási folyamatokban keletkező hulladékáramokat. A továbbiakban aggregált adatokat felhasználva mutatjuk be, hogy az említett HAK-kódok alatt jegyzett hulladékfajták mekkora mennyiségben keletkeznek (a vizsgált és lezárt 2023. évben) a lítiumion-akkumulátorcella gyártása folyamán **(4. táblázat)**.

A táblázatban az OKIR rendszerben rögzített hivatalos adatok alapján bemutatjuk a keletkezett éves mennyiségeket, valamint feltüntetjük az adott hulladéktípusra vonatkozólag a magyarországi feldolgozási kapacitás értékeit. Ezen két mennyiség összevetésével megállapítjuk, hogy az adott HAK-kód alatt jegyzett hulladékáram esetében a feldolgozási kapacitás rendelkezésre áll-e hazánkban. Látható továbbá, hogy az akkumulátorcella-gyártásból származó mennyiség összesen hány százaléka keletkezett az adott hulladékáram egyéb ipari tevékenységből származó összmennyiségéhez képest. A 2023. évre rendelkezésre álló mennyiségi adatok alapján az említett HAK-kódok alatt a következő mennyiségek keletkeztek kb. 35 GWh[3] akkumulátorcella magyarországi termelési kapacitás mellett. A feldolgozói kapacitásokat illetően látható, hogy a kérdéses HAK-kódok alatt jegyzett hulladékok esetében mekkora feldolgozói kapacitás áll rendelkezésre hazánkban.

A HAK 06 03 15* hulladékazonosító kódú, nehézfémeket tartalmazó fémoxid-hulladék az OKIR-bevallások alapján vagy hulladékégetőbe kerül ártalmatlanításra, vagy közvetlenül a SungEel Hitech Hungary Kft. szigetszentmiklósi és bátonyterenyei telephelyeire. A SungEel Hitech Hungary Kft. engedélyezett kapacitásán felül a hazai összkezelői kapacitás eléri a több tízezer tonna mennyiséget, ami elsősorban ártalmatlanítást jelent.

A HAK 06 13 99 hulladékazonosító kódú, közelebbről meg nem határozott hulladék elnevezésű hulladék az anóddiszperzió (slurry), amelyet elsősorban ártalmatlanítás útján kezelnek.

4. táblázat. Az egyes HAK-kódok alatt az OKIR rendszerben nyilvántartott hulladékok 2023. évi mennyisége és a hazai kezelői kapacitások mértéke

HAK-kód	Cellagyártásból keletkezett mennyiség # (tonna)	Akkumulátor-hulladék-kezelői kapacitás (tonna/év)	Frakció nagysága ## (%)	Összes keletkezett mennyiség (tonna)
HAK 06 03 15*	6,122	7,900	61,3	9,982
[1] HAK 16 02 13*	(20,900)		–	1,459
[2] HAK 16 02 15*	175		–	3,377
### HAK 06 13 99	1,094	250,000	57,9	1,887
### HAK 15 02 02*	716	83,000	2,99	23,910
### HAK 15 02 03	30	40,000	0,61	4,934
HAK 16 06 05	3,853	12,800	37,2	10,351
HAK 16 10 01*	37,271	130,400	38,9	95,911
### HAK 19 02 11	1,515		17,3	8,774

OKIR-szűrés alapján, csak a cellagyártók tekintetében (alkatrész-, alapanyag- és modulgyártók hulladékait nem tartalmazza).
Összes keletkezett mennyiségben az akkumulátorcella-gyártásból származó frakció nagysága.
A kapacitás a Magyarországon keletkezett összes hulladékra vonatkozik.

[1] HAK 16 02 13* hulladékazonosító kódú, veszélyes anyagokat tartalmazó kiselejtezett berendezések tervezetten a 2026. évtől kezdődően fognak keletkezni a még építés alatt álló akkumulátorgyártóknál. Ebbe a kategóriába tartozik a hulladék-akkumulátorcella és a félkész akkumulátorcella. *Az adat az engedélyezési dokumentációkból származik.*

[2] HAK 16 02 15 hulladékazonosító kódú, kiselejtezett berendezésből eltávolított veszélyes anyag a cellagyártás és az alkatrészgyártás során is fog keletkezni, tervezetten 175 tonna/év mennyiségben, 2026. évtől kezdődően. Ezek a hulladékok nem kizárólag gyártási selejtakkumulátorok vagy azok részei (katód, száraz jelly roll), hanem hulladékká vált elektronikai alkatrészek, amelyek kezelését a Sungeel Hitech Hungary Kft. mellett a HAK 16 02 14 hulladékazonosító kódú hulladékokat is feldolgozó magyarországi gazdálkodó szervezetek végzik, amelyek együttes, elektromos és elektronikus berendezések hulladékaira vonatkozó előkezelői kapacitása megközelíti az 500 000 tonna/év mennyiséget.

[3] 2023. évben a Samsung SDI Kft. gödi gyára és az SK ON Hungary Kft. komáromi üzeme tudott működni az engedélyezett kapacitás mellett (viszont iparági információk szerint mindössze 45–50%-os kapacitás mellett működtek ténylegesen), míg az SK ON Hungary Kft. iváncsai gyárában próbaüzem volt ebben az évben. A számításhoz figyelembe vették, hogy az iváncsai üzemben keletkező hulladék kb. ötöde volt a komáromi gyárban termelődött hulladék mennyiségének. Azaz a 36 GWh és a 17 GWh mennyiség 50%-a, valamint a 30 GWh 20%-ának mennyisége adja ki a 2023. évi termelési kapacitást.

Az összkezelői kapacitás ugyan 250 000 tonna/év felett van, azonban meg kell jegyezni, hogy a HAK 06 13 99 hulladékazonosító kódú, közelebbről meg nem határozott hulladék esetében csak a cellagyártásból származó hulladéknál jelent anóddiszperziót, mely lerakás vagy hulladékégetés útján kerül ártalmatlanításra.

A HAK 15 02 02 hulladékazonosító kódú, „Veszélyes anyagokkal szennyezett abszorbensek, szűrőanyagok" elnevezésű hulladékot a gyűjtést, előkezelést követően nagyobb részt ártalmatlanítják, kisebb részt hasznosítják. A hulladékkezelési eljárások közül a legnagyobb mennyiséget a D10 kódon történő szárazföldi hulladékégetés és a D5 kódon történő lerakás teszi ki, de létezik R1 kódon történő, elsődleges tüzelő- vagy üzemanyagként történő felhasználás vagy más módon energia-előállítás, R3 kódon oldószerként nem használatos szerves anyagok visszanyerése, újrafeldolgozása is. Az engedélyezett hazai összkapacitás 80 000 tonna/év felett van.

A HAK 15 02 03 hulladékazonosító kódú, abszorbensek, szűrőanyagok, törlőkendők, védőruházat elnevezésű hulladék akkumulátorgyártással érintett aránya a teljes kezelt mennyiséghez viszonyítva 1% alatt van. A hulladék nagy része R3 kódon történő, oldószerként nem használatos szerves anyagok visszanyerésével, újrafeldolgozásával és D5 kódon történő lerakással valósul meg, közel 40 000 tonna/év engedélyezett kapacitás mellett.

A HAK 16 02 15 hulladékazonosító kódú, kiselejtezett berendezésből eltávolított veszélyes anyag nem kizárólag gyártási selejtakkumulátorokat, hanem hulladékká vált elektromos és elektronikus berendezéseket is jelenthet. Az akkumulátorgyártás során keletkező gyártási selejtek kezelése R4 kezelési kódon valósul meg, elsősorban a SungEel Hitech Hungary Kft. jóvoltából.

A HAK 16 06 05 hulladékazonosító kódú, egyéb elemek és akkumulátorok elnevezésű hulladék alá sorolandók be jelenleg a cellagyártás és a modulgyártás során keletkező selejtakkumulátorok. A hulladékok előkezelését, hasznosítását több magyarországi hulladékgazdálkodó szervezet is végzi.

A HAK 16 10 01 hulladékazonosító kódú, veszélyes anyagokat tartalmazó vizes folyékony hulladék elsősorban NMP-bázisú vizes hulladékot jelent, de katód- és anóddiszperziót tartalmazó formában is keletkezik. A hazai hulladékhasznosítási kapacitás 163 850 tonna, amelyből 130 400 tonna a kifejezetten a cellagyártásból származó NMP-bázisú vizes hulladék hasznosítására vonatkozik, tehát a hazai hulladékkezelői kapacitás rendelkezésre áll.

A HAK 19 02 11 hulladékazonosító kódú veszélyes anyagokat tartalmazó egyéb hulladék az akkumulátorgyártásban mosási folyamatokban keletkező elektrolitos vizet jelenti, amelynek kezelése jelenleg ártalmatlanítás útján valósul meg, több mint 75 000 tonna/év engedélyezett kapacitás mellett.

A táblázatban felsorolt hulladékáramok esetében látható, hogy a legtöbb esetben az elérhető hivatalos dokumentációk alapján rendelkezésre áll a feldolgozói kapacitás, ugyanakkor a 2026-tól tervezetten keletkező HAK 16 02 13* esetében ez a megállapítás nem igaz. Emiatt a feldolgozói kapacitás ezen hulladékáramot illetően jelentős mértékű fejlesztésre és bővítésre szorul a közeli jövőben.

Továbbá fontos megjegyezni, hogy a jelenleg érvényben lévő HAK-gyűjtőkódokra van elvi, engedélyezett kapacitás, azonban az egyedi kezelést igénylő speciális jellegű akkumulátorhulladékokra vonatkozóan a tényleges kapacitások korlátozottan állnak rendelkezésre. A 2025. március 5-én megjelent, 2026. december 9-től érvénybe lépő új HAK-kódok szerint képzett hivatalos adatok alapján akkumulátorhulladékok kezelésére vonatkozólag a jövőben pontosabb helyzetértékelés végezhető.

Összefoglalás, konklúzió

A hazai lítiumion-akkumulátor-értéklánc 2023. évi adatai alapján megállapítható, hogy a cella- és komponensgyártásból származó hulladékáramok volumene és összetétele már iparági szinten is meghatározó. A cellagyártási folyamatok (elektródgyártás, cellaösszeszerelés, elektrokémiai formázás és modul/pakképítés) minden szakasza jól körülhatárolható típusú, részben veszélyes hulladék keletkezésével jár, amelyek nagy része néhány jellemző HAK-kód alá sorolható.

A rendelkezésre álló OKIR-adatok alapján a legnagyobb mennyiségben jelentkező hulladéktípusok a nehézfémtartalmú fémoxidok (HAK 06 03 15*), az anódiszap (HAK 06 13 99), a bontatlan és selejtcellák/akkumulátorok (HAK 16 06 05), valamint az elektrolittal szennyezett vizes hulladékok (HAK 16 10 01*; részben HAK 19 02 11*). Ezek a frakciók több esetben a teljes hazai ipari eredetű mennyiség jelentős hányadát teszik ki – különösen a HAK 06 03 15* és HAK 06 13 99 esetében –, ami a cellagyártás hulladékgazdálkodási súlyát egyértelműen jelzi.

A feldolgozói kapacitások a 2023-as hivatalos adatok (OKIR, engedélyek) ismeretében részben elegendőek a képződött hulladékmennyiségek kezelésére, azonban 2026 végétől az akkumulátorgyártás tervezett felfutása több területen kapacitásbővítést tesz szükségessé. Külön figyelmet igényel a veszélyes anyagokat tartalmazó kiselejtezett berendezések (HAK 16 02 13*) várhatóan nagy volumenű megjelenése, amihez jelenleg nem áll rendelkezésre megfelelő mértékű hazai kezelési infrastruktúra. Emellett a gyártástechnológiák és az alkalmazott akkumulátorkémiák gyors változása a hulladékáramok összetételének folyamatos változását eredményezi, ami a hulladékminősítés és az engedélyezési gyakorlat rendszeres aktualizálását indokolja. Az egyre olcsóbb típusú alapanyagok (pl. vas-foszfát-alapú akkumulátorok) alkalmazása gazdaságossági szempontból negatív hatású lehet a feldolgozás, illetve a szükséges beruházások esetében.

Összefoglalva megállapítható, hogy a magyarországi akkumulátorcella-gyártásból származó hulladékáramok kezelése jelenleg részben megoldott, azonban az iparág növekedési dinamikája, valamint az EU-s szabályozási környezet változásai miatt a következő években elengedhetetlenné válik:

1. **egyes hulladékáramok hazai kezelőkapacitásának bővítése**,
2. **az új HAK-kódokkal összhangban álló minősítési és engedélyezési rendszer gyors adaptálása**,
3. **a gyártók és a hulladékkezelők technológiai együttműködésének erősítése**,
4. **a cellagyártási folyamatokhoz igazított, környezeti kockázatokat minimalizáló kezelési megoldások fejlesztése**,
5. **az akkumulátor-iparági szereplők, a gyártók, hulladékkezelők, egyetemek és kutatóközpontok, valamint állami szabályozás összehangolt működésének biztosítása.**

A vizsgált hulladékáramok folyamatos mennyiségi és minőségi elemzése fontos alapot nyújt a hazai döntéshozók, ipari szereplők és kutatóhelyek számára a következő években várható hulladékmennyiségek megfelelő és fenntartható kezeléséhez.

Agárdi Tamás
■ AFV Kft. (tabla.hu)

Amikor a menekülési jel már rendszer – utánvilágító útirányjelzés a gyakorlatban

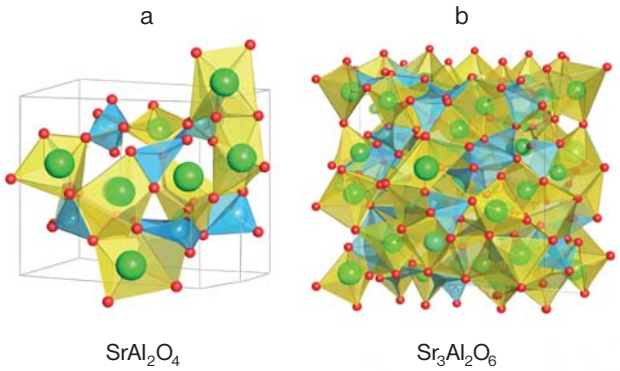
A menekülési útirányjelzésről még ma is sok helyen úgy gondolkodnak, mintha az néhány, egymástól függetlenül kihelyezett zöld táblából állna: egy kijáratjel az ajtó fölött, egy iránynyíl a folyosón, és ezzel a feladat el is van intézve. A valóságban a jól működő menekülési jelzés nem pontszerű, hanem összefüggő vizuális rendszer. Vészhelyzetben az ember nem szabványt olvas és nem alaprajzot elemez, hanem kapaszkodókat keres: merre kell indulni, hol kell fordulni, melyik ajtó használható, és hogyan lehet a lehető leggyorsabban biztonságos térbe jutni. A menekülési út jelölésének ezért nem önmagában kell helyesnek lennie, hanem útvonal-szinten kell működnie.

Ezt a szemléletet a munkavédelmi és tűzvédelmi követelményrendszer is támogatja. A biztonsági jelzés ott válik indokolttá, ahol a kockázat műszaki vagy szervezési intézkedésekkel nem küszöbölhető ki teljesen, és ahol a helyes cselekvéshez gyors, egyértelmű vizuális információra van szükség. A menekülési jelzések világában ezért a szabványosság nem formai kérdés, hanem életvédelmi minimum. Az ISO 3864-1 a biztonsági színek és jelek tervezési elveit rögzíti, az ISO 7010 pedig az egységesen értelmezhető menekülési és vészkijárati jelek készletét adja meg. Ennek gyakorlati jelentősége az, hogy a jelnek nyelvtudástól, helyismerettől és szervezeti rutintól függetlenül is ugyanazt kell üzennie. A jó rendszer ezért nem kreatív, hanem következetes: ugyanaz a szín–jelalak–piktogram kapcsolat jelenik meg minden döntési ponton, minden ismétlésnél és minden fordulóban.

A menekülési jel azért nem működik önmagában, mert a kijutás sem egyetlen pillanat döntése. A kijárat felismerése csak az első lépés. Ezután jön az útvonal követése, a fordulók értelmezése, az ajtók és szintváltások felismerése, a lépcsők biztonságos megközelítése, végül a védett tér vagy a szabadba vezető kijutás elérése. Ebből következik, hogy a magasan telepített kijáratjel csak egy eleme a teljes rendszernek. Ugyanilyen fontos lehet a középmagas ismétlés, a padlószintközeli vezető jelölés, a lépcsőélek, ajtókeretek és akadályok kiemelése, valamint az alaprajzi és helyszíni menekülési információ összhangja. A menekülési útirányítás akkor működik igazán jól, ha a menekülő személy a teljes útvonalon folyamatos megerősítést kap arról, hogy jó irányba halad.

A telepítési magasság kérdését ezért nem érdemes leegyszerűsíteni arra, hogy „fent vagy lent”. A magasan telepített jel legnagyobb előnye a távoli észlelhetőség: tömegből is jól kiolvasható, és gyorsan azonosítja a kijárat helyét. Ugyanakkor füstképződéssel, összetett térgeometriával, nagy belmagassággal vagy takarást okozó berendezésekkel terhelt környezetben önmagában kevés lehet. A középmagasan és alacsonyan elhelyezett vizuális vezetés ott válik különösen fontossá, ahol a menekülő személynek nemcsak a célt, hanem az odavezető útvonal folytonosságát is érzékelnie kell. A jól felépített rendszer ezért nem egyetlen szintben gondolkodik, hanem több érzékelési síkot kapcsol össze.

Ebben a rendszerben külön helye van az utánvilágító, pontosabban fotolumineszcens megoldásoknak. Ezek az anyagok a környezeti vagy mesterséges fényből energiát nyelnek el, azt eltárolják, majd a gerjesztés megszűnése után fokozatosan visszasugározzák. A korszerű rendszerek jelentős része ma már stroncium-aluminát-alapú pigmentekre épül **(1. ábra)**, amelyek teljesítménye kedvezőbb a régebbi cink-szulfid-alapú rendszerekénél. Előnyük, hogy passzívak, egyszerűek, energiaellátás nélkül is képesek vizuális vezetést adni ajtókereteken, lépcsőéleken, padlószintközeli csíkokon vagy irányjelző elemekben.



1. ábra. Az $SrAl_2O_4$ monoklin kristályszerkezetének sematikus képe, illetve az $Sr_3Al_2O_6$ köbös fázisának sematikus ábrázolása

Fontos azonban, hogy az utánvilágító rendszereket ne misztifikáljuk. Ezek a termékek csak megfelelő feltöltődés esetén működnek megbízhatóan. Ha egy folyosó a nap nagy részében eleve gyengén megvilágított, akkor az ott elhelyezett utánvilágító jelek nem tudnak elegendő energiát felvenni, így veszélyhelyzetben vagy áramszünet esetén nem fognak kellő fényt kibocsátani. Az utánvilágító jel tehát nem „önmagától világító” felület, hanem olyan rendszerkomponens, amelynek teljesítménye közvetlenül függ a környezeti fény kialvását megelőző megvilágítottsági viszonyoktól.

Ugyanezért kültéren sem tekinthető minden esetben ideális megoldásnak. A fokozatos esti sötétedés során az utánvilágító felület már naplemente körül megkezdi a tárolt energia leadását, így mire teljes sötétség alakul ki, a kibocsátható fény egy része már elhasználódott. Ez kültéri alkalmazásnál rontja a rendszer hatásfokát, különösen akkor, ha a jelzés teljesítményét éppen a legsötétebb időszakban várnánk el. Az utánvilágító rendszerek alkalmazhatóságát ezért mindig a valós fényviszonyok, a használati mód és a kockázatértékelés alapján kell megítélni.

Az utánvilágító és az elektromos megoldás közötti választást emiatt sem célszerű hitvita szintjére vinni. Az elektromos rendszer aktív megoldás: táplálásra, üzembiztos karbantartásra és sok

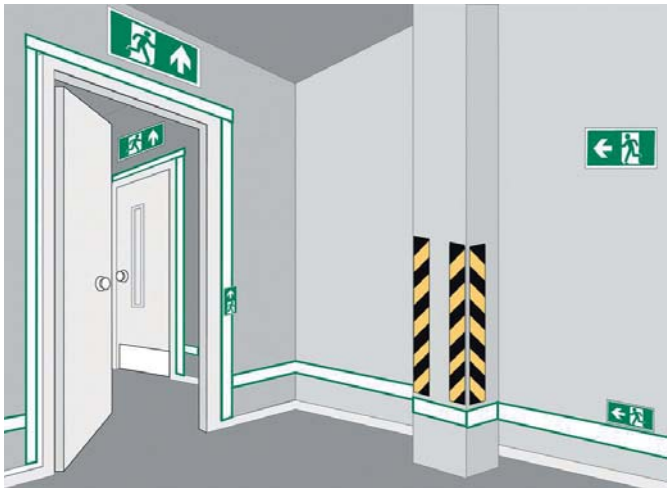
Táblák | Feliratok
Reklámtechnika
tabla.hu

esetben tartalék energiaellátásra támaszkodik, ugyanakkor bizonyos rendeltetéseknél, nagyobb alapterületű vagy összetettebb épületeknél indokolt. Az utánvilágító rendszer ezzel szemben egyszerűbb, robusztusabb, sok esetben jól alkalmazható folytonos vizuális vezetésre, de csak akkor, ha a feltöltődés feltételei biztosítottak. A jó válasz tehát nem általános, hanem mindig a tényleges használati környezetből indul.

A menekülési rendszerek egyik legtöbb hibát termelő területe a menekülési irányt jelölő nyilak logikus elhelyezése és a folytonosság kérdése. Sok helyen nem az a baj, hogy nincs jel, hanem az, hogy a jelrendszer megszakad. Például, ha a kijáratjel az ajtó fölé felkerül, de odáig nem vezet egyértelmű információ. Van iránynyíl a folyosón, de a forduló után nincs ismétlés. Van alacsonyan telepített vezetőcsík, de az ajtókeret nincs kiemelve. Vagy éppen az egyik ponton adott irányinformáció nem következetes a következő jelöléssel. Meneküléskor ez nem pusztán kényelmetlenség, hanem döntési késedelmet okozó hiba.

A leggyakoribb telepítési hibák szinte minden létesítménytípusban visszatérnek. Ilyen, amikor a rendszert továbbra is különálló táblák soraként kezelik, amikor kizárólag magasra szerelt jelekre támaszkodnak, amikor logikailag hibás a menekülési irányt jelölő nyilak elhelyezése, amikor elmarad a lépcsők, ajtónyitási pontok és szintkülönbségek kiemelése, illetve amikor a karbantartás hiánya miatt a jel porossá, sérültté, vagy átrendezés miatt takarttá vagy értelmezhetetlenné válik. A menekülési jelrendszert ezért ugyanúgy rendszeresen felül kell vizsgálni, mint bármely más életvédelmi elemet.

A jól kialakított menekülési útirányjelzés sajátos tulajdonsága, hogy normál üzemben szinte háttérben marad, veszélyhelyzetben viszont egyértelmű cselekvést támogat. Nem egyetlen táblára bízza a tájékozódást, hanem folytonos vizuális rendet épít. Ebben a megközelítésben a magasan telepített kijáratjel, a középmagas ismétlés, a padlószintközeli vezető elem, az utánvilágító felület, a megfelelő anyagminőség (pl. tisztíthatóság) és szükség esetén az elektromos vészvilágítás nem különálló megoldások, hanem ugyanannak az életvédelmi rendszernek az elemei **(2. ábra)**. Amikor ezt felismerjük, akkor válik világossá, hogy a menekülési jel valójában nem pusztán egy vagy több tábla, hanem rendszer.



2. ábra. Példa egy folyosói menekülési út jelöléseire (ISO 16069-2004 Annex A - SWGS layout 03)

A MOL megvásárolja az O&GD közép- és a kelet-magyarországi érdekeltségeit

A MOL a már meglévő 49%-os részesedése mellett megvásárolja az O&GD fennmaradó 51%-os részesedését a közép-magyarországi Mogyoród, Nagykáta és Ócsa koncessziós területeken található bányatelkekben. Az említett területeken találhatók a már termelésben lévő Tura-D-3 és Galgahévíz-4 olajkutak, amelyek a teljes részesedés megszerzésével további 700 hordó egyenérték/nap mennyiséggel növelik a MOL hazai termelését.

A mostani ügylet részeként a MOL tulajdonába kerülnek az O&GD további kelet-magyarországi érdekeltségei is: az Újléta, Nádudvar koncesszió, a Berettyóújfalu koncesszió 50%-a, valamint a Penészlek bányatelek és a Konyár gázelőkészítő üzem. Az itt található 22 kút összesen körülbelül napi 200 hordó egyenérték szénhidrogén-termelést jelent, míg a jelentős gázinfrastruktúra hozzájárul a MOL kutatás-termelési tevékenységének optimalizálásához.

„A globális energiapiac bizonytalanságait diverzifikálással tudjuk ellensúlyozni, a legjobb forrás pedig mindig a hazai. A MOL az elmúlt öt évben mintegy százhatvan milliárd forintot fektetett a hazai kőolaj- és földgázkitermelésbe, amelynek köszönhető többek között a vecsési és somogysámsoni kutak felfedezése. Az új találatok és a termelésoptimalizálás eredményeképpen a magyar termelés jelenleg 25 éves csúcson jár. Az O&GD területei az eddigi tapasztalatok alapján ígéretesek: a 2025-ben megvásárolt Endrőd környéki területen már az év végén új gázlelőhelyet fedeztünk fel 1760 méteres mélységben. A Nagykörű-D-2 nevű kút 2026 márciusában állt termelésbe, és napi 70 ezer köbméter gázzal látja el a MOL tiszaújvárosi üzemét” – mondta Schubert Archibald, a MOL Magyarország Kutatás-Termelés ügyvezető igazgatója.

2025-ben a hazai termelésből a kőolaj 47%-át (több mint 600 ezer tonna) és a földgáz közel 76%-át (csaknem 1,5 milliárd köbméter) a MOL biztosította. A MOL-csoport kőolaj- és földgázkitermelési portfóliójában szintén Magyarország a legjelentősebb, amely jelenleg a teljes termelés közel 40%-át adja.

A tranzakció várhatóan 2026 harmadik negyedévében zárul, a hatósági jóváhagyásoktól függően. *(mol.hu)*

Pokol György (1950–2026)

Március 15-én, életének 76. évében, súlyos betegség után elhunyt Dr. Pokol György, a Műegyetem professzor emeritusza.

1973 óta oktatta a vegyészmérnökök generációit analitikai kémiára, 1994-től egyetemi tanárként. Világosan megfogalmazott, a lényeget kiemelő, élvezetes előadásait a hallgatók nagyon kedvelték, elnyerte a „Kar kiváló oktatója" címet. Csaknem tíz évig az Általános és Analitikai Kémia Tanszék vezetője, öt éven át oktatási dékánhelyettes, 2003-tól, tíz éven át, a Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar dékánja. Dékánsága alatt két új mesterszak – Gyógyszervegyész-mérnöki MSc, Műanyag- és száltechnológiai MSc – létesült és indult el, és erre az időre esett a Kar jelentős átszervezése is, melynek során kialakult a jelenleg is működő öt tanszékből álló szerkezet. Az átszervezés fő kiváltó oka az volt, hogy a BME új, egységes költségvetési irányelveket fogadott el, melyek nem vették figyelembe a vegyészmérnökképzés anyag-, eszköz- és munkaerő-igényeit, így a kar finanszírozási válságba került. Pokol György kitartó tárgyalásokkal olyan „konvergenciaprogramban" állapodott meg az egyetemi vezetéssel, melynek során egy több évre elnyújtott folyamatban alakult át a kar szerkezete, és költségvetése összhangba került a BME elvárásaival. Az átalakulás nehéz folyamatát a türelem és a tisztességes eljárás elveinek messzemenő figyelembevételével, nagy emberséggel irányította. Így nem volt véletlen, hogy 2016-ban a Természettudományi Kutatóközpont főigazgatói pozíciójára kérték fel, melyet sikeres pályázat után 2019-ig vezetett.

Kutatásai a szilárd anyagok fázisátalakulásaihoz, a termikus analízis anyagtudományi alkalmazásaihoz kapcsolódnak, beleértve gyógyszeripari anyagok és szupramolekuláris rendszerek vizsgálatát. 1996-ban lett a kémiai tudomány doktora. Elnöke volt az MTA Kémiai Osztály Analitikai Kémiai Bizottságnak, és 2011–2013 között az International Confederation of Thermal Analysis and Calometry Publications Committee-nek. A Magyar Érdemrend tisztikeresztje polgári tagozat kitüntetés, az Apáczai Csere János-díj és a BME József Nádor-díj tulajdonosa. A Magyar Kémikusok Egyesületében végzett munkájáért 2008-ban Preisich Miklós-díjban, 2010-ben Náray-Szabó István Tudományos Díjban részesült.

Számos bizottság, testület tagjaként végzett fáradhatatlanul munkát, bölcsessége, átfogó tudása, humora, érvelése azokban is megmaradt, akik egyes ügyekben nem értettek vele egyet. Magam eggyel kevesebb igaz emberhez fordulhatok tanácsért. Emlékét nagy szeretettel megőrizzük!

Nyulászi László

Mitől lehet valaki jó vezető?

Pokol Györggyel 2020 végén jelent meg interjú a Magyar Kémikusok Lapjában. Egyetemi pályafutásáról, aztán a Természettudományi Kutatóközpontban végzett konszolidációs munkájáról beszélgettünk, végül a jó vezetéshez szükséges emberi tényezőkről esett szó. Ebből a részből idézzük most fel Pokol György gondolatait.

Alapkövetelményt keveset fogalmaznék meg, persze a tisztesség az első. Induljunk ki abból, hogy a vezető is ember. Bizonyos hozzáállásra, képességre szükség van, de az már az illető egyéniségétől függ, hogy milyen módon él vele. Azt tudnám mondani, hogy senki ne akarjon másnak látszani, mint amilyen. Igaznak gondolom, hogy én viszonylag empatikus vagyok. De akkor nem kell katonáskodni, mert az nem áll jól, és nem is fogadják el a kollégák, mert látják, hogy hamis. Egy rendelkező típusú vezetőnek pedig nem kell úgy tennie, mintha állandóan simogatni akarná az embereket. Egyetértek azzal, hogy bizonyos kor fölött – például az állami egyetemeken 65 év a határ – nem kell nagy felelősséggel járó vezetést rábízni valakire: oda kondi kell, türelem, figyelem. Nem kell már erőltetni, hogy egyszemélyi döntési jogosítványa legyen az embernek.

Egyszer, egy amerikai látogatás során, együtt reggeliztem négyszemközt a Boeing igazgatótanácsának előző elnökével. Nagyon kedvesen elbeszélgetett velem, kérdezgetett az egyetemi vezetésről, mert ez még dékán koromban volt. Megjegyeztem, hogy úgy látom, az emberekre kell fókuszálni. Erre azt mondta: George, you are right, it's all about people. Az ilyen, mondjuk, vezetői-szervezői munka nem való annak, aki ideges lesz, ha ugyanazon a napon már az ötödik munkatárs keresi meg a problémájával. Engem az emberek nagyon ritkán idegesítenek fel, szerencsére.

Van, aki szeret maga dönteni, és szigorúan megköveteli a végrehajtást, de akkor nem szabad sokat tévednie. Én meg töprengős vagyok. Szeretek másokat is meghallgatni, aztán vagy elfogadom, amit mondanak, vagy nem. És még egy. Ahogy visszatekintek a pályámra, azt látom, hogy sokszor szívesen segítettek nekem, elvállalták, amit kértem. Engem ritkán küldenek el a fenébe.

Kutasi Csaba

A röntgensugárzás káros hatásaitól védő öltözékek, árnyékolók

A röntgensugárzást – a tudományos és ipari vizsgálatok mellett – főként az orvoslás során használják a diagnosztikában, az eszközpozicionálásban, valamint a terápiákban. A röntgensugárzás káros biológiai hatásai is köztudottak, ezért lényeges a megfelelő védelem biztosítása mind az egészségügyi személyzet, mind a betegek számára. Ennek érdekében többféle védőöltözék és kiegészítő vagy árnyékolóeszköz áll rendelkezésre. A védőruházatok funkcionális rétege lehet hagyományos ólomárnyékoló, valamint könnyített kivitelben kompozit vagy ólommentesen más nehézfémekkel kialakítva. A sugárvédelmi képességet az anyagvizsgálatok mellett manikentesztel is kontrollálhatják, amellyel az emberi test valamennyi szervére gyakorolt hatás nyomon követhető.*

Sugárzásvédő anyagok

A sugárhasználat kockázatokkal jár, a külső sugárterhelés mérséklésének egyik meghatározó eszköze az *árnyékolás*. A sugárvédő ruházatot általában az egészségügyi dolgozók és a betegek közvetlen és másodlagos sugárzás elleni védelmére alkalmazzák a diagnosztikai képalkotás során. Hosszú ideig kizárólag az *ólom* sugárzásgyengítő képessége volt a sugárvédelem alapja. A sugárzásvédő anyagokkal kapcsolatos kutatások és a technológiák fejlődése további két alternatív megoldást tett lehetővé, ezekben ólomkompozitot vagy ólommentes sugárzásárnyékolást alkalmaznak.

Az ólmot és egyéb sugárvédelmet biztosító anyagot tartalmazó, *lapszerű réteggel* készített védőeszközök, például köpenyek, körkörös kabátok, szoknyák, kötények, mellények, fejvédők, kesztyűk viselése a röntgenasszisztensek, radiológus orvosok és a sugárhatásnak kitett betegek számára lényeges. A *betegeket* érő zavaró röntgensugárzás elleni védekezésre szolgálnak például az ivarmirigyeket, pajzsmirigyet védő árnyékolók, utóbbiak a fogászati sugárterheléses beavatkozásoknál is fontosak. A szem védelmére hajlított *akril ólomüvegből* készült óvó álarc vagy könnyű szemüveg, körbefutó műanyag keret sugárzáscsökkentő lencsékkel áll rendelkezésre, 0,75 mm-es ólom-egyenértékűséggel.

A röntgenhelyiségek és -kabinok falait *ólomlemezekkel* burkolják, ezzel megakadályozható a röntgensugarak kijutása, minimálisra csökkentve a környező területek sugárterhelését. Hasonlóan elterjedtek a speciális védőképességű határoló függönyök/lamellák, paravánok, amelyek általában ólomréteggel kombinált összetett szerkezetek.

* Az írás egyes részletei megjelentek az Élet és Tudomány 2025/16. számában.

A sugárvédő öltözékek és kiegészítők anyagai

A röntgensugárzástól védő ruházatok belső funkcionális rétege lehet hagyományos ólomárnyékoló, könnyített kivitelben *kompozit* vagy *ólommentes* változat egyéb *nehézfémekkel.*

A külső borítóanyagok készülhetnek könnyű felvételt és sima rögzítést biztosító szintetikus kelmékből. Az 5 mm-es távolságban ezüst- vagy ezüstözött filamentekkel beszőtt textilanyag antibakteriális képességgel is rendelkezik.

Hagyományos ólomárnyékolás

Az ólom puha, alakítható és korrózióálló anyag. *Nagy sűrűsége* (11,34 g/cm³) hasznos védőpajzsot jelent többek között a röntgensugárzás ellen. Közvetlenül azonban nem alkalmas nagy felületű viselhető termék céljára. Annak érdekében, hogy hordható sugárzásvédő anyaggá váljon, kötő- és adalékanyagokkal összekeverve rugalmas *ólom-vinil-lemezt* állítanak elő. Az így kialakított lapszerű anyagot a kívánt vastagságúra rétegezik, és így építik be a sugárzásvédő ruhadarabba. Az ólomekvivalencia-védelemnek megfelelően általában három szabványos változata van; a röntgensugárzás elleni védőruházathoz 0,25 mm-es, 0,35 mm-es és 0,5 mm-es vastagságban alkalmazzák.

Rugalmas ólom-vinil-lemez előállítása, felhasználása

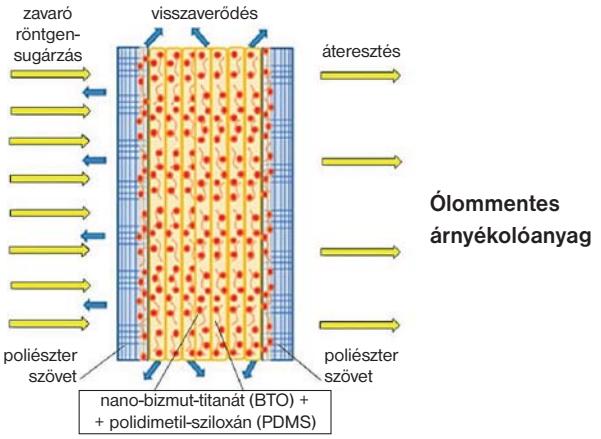
Ólomkompozit-árnyékolás

A kompozit árnyékolóanyag ólom és más könnyebb (alacsonyabb atomtömegű) *nehézfémek* keveréke. Természetesen az ólomalapú kompozit anyagoknál is követelmény az optimális sugárgyengítő képesség. Elterjedt az *ólom, ón, gumi, PVC-vinil* és más csillapító fémek, keverékek alkalmazása. A sugárzásvédő kompozitokban a *mátrixanyagként* alkalmas polimerek közé tartozik például az ultranagy molekulatömegű polietilén, az epoxigyanta, a szilíciumgumi és a polilaktid. Az ilyen sugárzásvédő ruhadarabok akár 25%-kal könnyebbek, mint a hagyományos ólomalapú

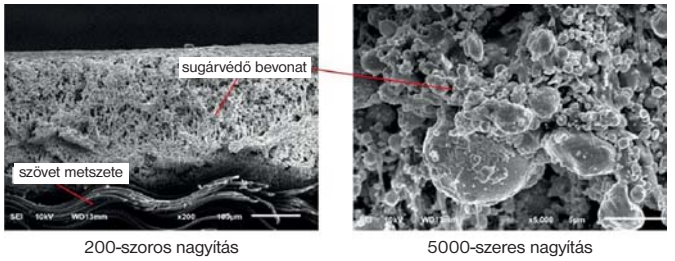
védőeszközök, ugyanakkor azonos ólom-egyenértékű védelmi szinttel állnak rendelkezésre.

Ólommentes árnyékolás

Az ólomalapú kompozit árnyékolóanyagok keverékeihez hasonlóan az ólommentes árnyékolóanyagok is megfelelő védelmi szintet biztosítanak. Az ólommentes védőanyagokat olyan adalékokkal és kötőanyagokkal gyártják, amelyek *sugárzásblokkoló, -elnyelő nehézfémekkel* elegyednek. Ilyen fém lehet például az ón, az antimon, a volfrám, a bizmut, a tantál. A biztonságos ólommentes védőöltözékek újrahasznosíthatók.



Röntgensugárzás ellen védő eszközök készülhetnek megfelelő árnyékolóképességű réteggel *bevont szövetből* is.



Pásztázó elektronmikroszkóppal készült felvételek fémtartalmú bevonatos szövetről

A *tépőzáras* kivitelű öltözékeknél a megfelelően elhelyezett hevederek tökéletesen egyensúlyban tartják a nehéz ruházatot. A speciális víz- és szennyeződésálló tépőzár-szalagfelek poliamidból, teflonból és több réteg ólom-vinilből készülnek.

Tépőzár alkalmazása a védőruházaton

Az ólomalapú védőruházatok viselését könnyítő műszaki megoldások

A hagyományos ólom védőruházatra jellemző a kb. *15 kg-os súly*, ami a viselőjének jelentős terhelő igénybevételt okoz.

Az ilyen anyagú védőöltözékek hordása *fokozott testi igénybevétellel* jár, különös tekintettel a röntgensugárzást igénylő különböző, gyakran többórás műtéti beavatkozások során.

Az elterjedt technikák közül a *függesztett* sugárvédelmi eszközöket, illetve a védőruházat súlyát mentesítő *speciális külső vázas* rendszert említjük. Mindkettő olyan, hogy a mozgásszabadságot maximálisan biztosítja az orvosok, műtéti asszisztensek számára.

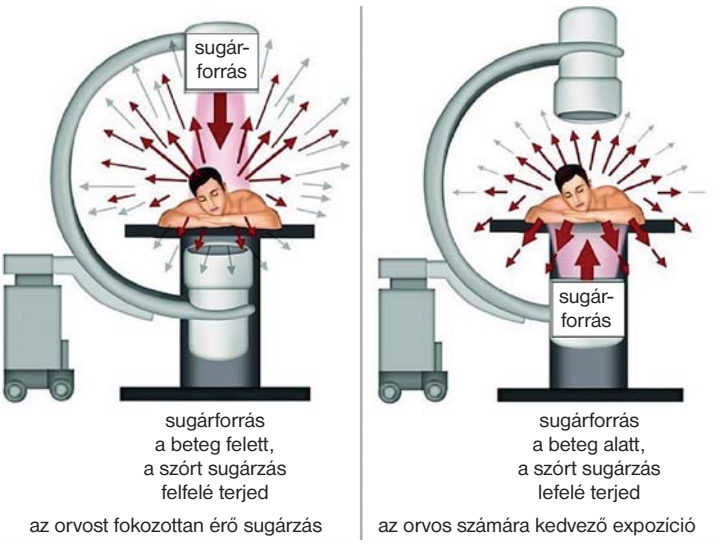
„Zero-Gravity" felfüggesztett sugárvédelmi rendszer

Külső, vázon alapuló, mozgásszabadságot biztosító, védőruházat súlyát viselő rendszer

A védőöltözék súlyától mentesítő megoldások

Egyéb sugárzást csökkentő lehetőségek

További lehetőségek is kínálkoznak a sugárzás elleni védelemre. Lényeges tényezőként kerül előtérbe a *sugárforrás pozicionálása,* amivel a betegtől terjedő szórt sugárzás mérsékelhető.

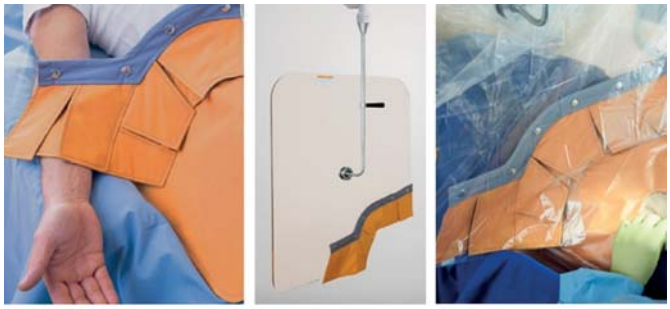


A sugárforrás elhelyezkedésének szerepe

A vizsgáló- és műtőasztalok körüli védelmi eszközök, a sugárforrásnál kialakított *védőpanelek* jelentősen hozzájárulnak a káros sugárzástól óvó műszaki megoldásokhoz.

Különböző sugárzásvédő eszközök

Az *ólom-akril* lemez átlátszó, ólomtartalmú műanyag lap. Előállításakor az ólmot kopolimerizációval viszik be a szintetikus anyagba. A szórt sugárzás elleni védelmet például ilyen típusú lappal oldják meg; alul *átlapolt panelfüggöny* és *védőkendők* csatlakoznak hozzá. A páciens testének körvonalát jól követi az eszköz, és kizárja az olyan réseket, ahol a szórt sugárzás eljuthatna a vizsgálóhoz.



Ólom-akril röntgensugárvédő pajzs (középen) átlapoló panelfüggönnyel és kendőkkel

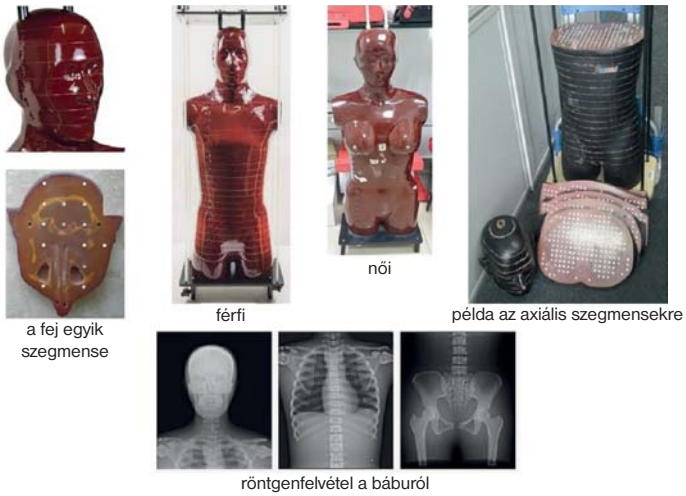
Sugárvédelem-kontroll manikentesztt el

Samuel W. Alderson (1914–2005) nagy tekintélyű fizikusként és mérnökként számontartott amerikai feltaláló megbízható antropomorf tesztbábuk megalkotásával forradalmasította az űrkutatást, az autóipart és az orvosipart.

Az Alderson-féle *sugárterápiás* (ART) fantom (maniken) a *Rando tesztbábu* kifinomult és továbbfejlesztett változata. A férfi ART egy 175 cm magas és 73,5 kg-os, a női pedig egy 155 cm magas és 50 kg-os személy felsőtestét modellezi. Ezeket vízszintesen 2,5 cm vastag szeletekre – *35 db axiális szegmensre* – vágták, minden ilyen egységben vannak furatok, amelyeket csont-, lágyszövet- és tüdőszövet-ekvivalens csapokkal tömnek be. A lágyszövetekkel egyenértékű bevonatok üvegsimaságú szeleteket alakítanak ki, amelyeket a garat, a légcső és a törzshörgők légterei felett metszenek le. Az ún. dozimetriai lyukakat 3 × 3 cm vagy 1,5 × 1,5 cm méretű rácsokba fúrják 5 és 7 mm átmérővel: ez teszi lehetővé a dóziseloszlások részletes mérését.

A *lágyszöveteket* imitáló anyagot szigorúan ellenőrzik, hogy átlagos sűrűsége legyen. A csontok speciális polimer öntvények, amelyek reprodukálják a kortikális és a szivacsos csontállomány tömegsűrűségét és csillapítási együtthatóit. A tüdőket speciális – 0,3 g/cm^3 sűrűségű – habból formázzák.

A kész fantomokban a *dozimetriai lyukak* „sima” tűkkel vannak kitöltve szállításkor, és méréskor dozimeterrel ellátott, 2,5 cm-es tűkkel váltják fel őket. A termolumineszcens dozimetriai (TLD) chipekhez készült tűk egyik végén 3,2 × 3,2 × 0,9 mm méretű mélyedések vannak, a TLD rudakhoz készült tűk középrészén 1 mm átmérőjű keresztirányú lyukak találhatók. Különböző típusú OSLD-k (optikailag stimulált lumineszcens dozimeterek) elhelyezésére alkalmas tűk is rendelhetők. A dózismérőkkel felszerelt rendszer alkalmas a 3D-s adatgyűjtésre.



Alderson–Rando antropomorf fantom felépítése

A védőruházatok időszakos minőségvizsgálata

A tesztelés magában foglalja a ruhadarabok sugárzás elleni *védelmi képességének* felmérését. Több vizsgálati módszert alkalmaznak

A *vizuális* ellenőrzéssel vizsgálják, hogy nincs-e sérülés (pl. szakadás, lyuk) vagy elszíneződés, ami veszélyeztetheti a védelem hatékonyságát.

A *tapintásos* vizsgálat során kézzel ellenőrzik, hogy nincsenek-e különböző folytonossági hiányok, és megjelölik a gyanús területeket.

Fluoroszkópos/röntgenvizsgálati egység alkalmazásával a *röntgensugárzás „szimulálása”* alkalmával felmérik, hogy a védőruha mennyire blokkolja a sugárzást, ilyenkor láthatóvá válnak a minőségrontó körülmények.

Dozimetriás módszerrel a védőfelszerelést viselő próbabábun vagy önkéntesen meghatározzák a sugárzás behatolási szintjét.

Tesztelés a védőruha röntgensugárzás ellen védő képességének ellenőrzésére

A sugárvédő ruházatok tisztítása

A tisztítással a szennyeződéseket, *mikroorganizmusokat* és testváladékokat kell kézi módszerrel eltávolítani. A friss foltokat hidegen enyhe finommosószeres vagy szappanos vízzel, puha textíliával szüntetik meg. Fehérjéket (pl. vér) hideg vizes kezeléssel lehet hatékonyan letörölni. A termék károsodásának elkerülésére oldó- és súrolószereket, egyéb agresszív anyagokat nem szabad használni.

Amennyiben a röntgenvédő ruházat felületéről a *szennyező biofilmet* teljesen eltávolították, sor kerül a fertőtlenítésre, amelylyel hatékonyan eltávolíthatók a megmaradt mikroorganizmusok. Kerülni kell a túl nagy nyomást a fertőtlenítő törlőkendő használatakor. Mellőzni kell az *alkohol*alapú fertőtlenítőszereket, a tiszta alkoholt (pl. etil és izopropil), az oxidatív (pl. aktív klórt tartalmazó) szereket.

A CLEANiRad rendszer *gépi mosási*, fertőtlenítési és szárítási technológiát tesz lehetővé a röntgenvédő ruházatok és tartozékok tisztító kezelésére.

szennyezett védőöltözékek | a tisztítóberendezés nyitva (a belső tér a terméktartókkal) | a szennyes termék behelyezése a tartókra akasztással

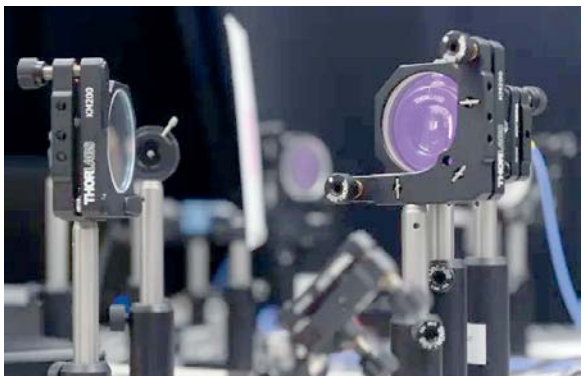
a zárt berendezésben mosófolyadék-permetezés, fertőtlenítés | szárítás után a tisztítóberendezés nyitása | tiszta termék kivétele

Gépi technológia a sugárvédő ruházatok tisztítására

IRODALOM
https://semmelweis.hu/kepalkotas/files/Taba-G_Sugarvedelem-HUN.pdf
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1120179721000855
https://barriertechnologies.com/
https://www.proquest.com/docview/2576398439?sourcetype=Scholarly%20Journals
https://www.wolverson.uk.com/radiation-protective-clothing/
https://rsdphantoms.com/product/the-alderson-radiation-therapy-phantom/
https://simad-xray.com/en/prodotto/cleanirad-cleaning-and-disinfecting-device-for-x-ray-protective-clothing/

Jelentős előrelépés a lézeres magfúziós kutatásokban

A Nanoplazmonikus Lézeres Fúzió Kutatólaboratórium (NAPLIFE) kutatói 2020 óta vizsgálják a lézerrel indukált magfúzió megvalósíthatóságát nanoméretű rendszerekben.



A több mint öt éven át tartó, Kroó Norbert, Csernai László Pál és Papp István ötletén és szabadalmán alapuló kutatás eredményei kimutatták, hogy megfelelő körülmények között a fúziós reakciók nanoméretben is beindíthatók. A projektet a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont irányította, együttműködve a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, a Szegedi Tudományegyetem, a Debreceni Egyetem, a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont és a szegedi ELI-ALPS, valamint külföldi egyetemek kutatóival is. A projekt eredményei bebizonyították, hogy a nanoplazmonikus lézeres fúzió (röviden nanofúzió) közép- és hosszú távon hozzájárulhat az energiaellátás biztonságának növeléséhez.

A fúziós energiatermelés elméletileg nagy energiasűrűséget biztosít viszonylag kis mennyiségű üzemanyag felhasználásával. A jelenlegi modellek szerint az energiahozam jelentősen meghaladhatja a fosszilis vagy hasadáson alapuló rendszerekét. A potenciális üzemanyagok közé tartozik a hidrogén, a deutérium, valamint egyes könnyű elemek, például a bór. A fúziós reakciók egyik előnye, hogy megfelelően megválasztott reakcióutak esetén nem keletkeznek hosszú felezési idejű radioaktív melléktermékek, ezért ez a technológia a jelenleg ismert leginkább környezetkímélő eljárások közé tartozik.

A NAPLIFE projekt során végzett kutatások a nanoplazmonikus lézeres fúzió működési mechanizmusának vizsgálatára irányultak. A kísérletekben millijoule-os energiájú impulzuslézerekhez hangolt arany nanorészecskéket alkalmaztak, amelyek a lokális elektromágneses tér erősítésén keresztül hozzájárulhatnak a fúziós reakciók feltételeinek kialakításához. A jelenséget proton–bór reakciók végtermékeinek detektálásával támasztották alá.

Az eddigi eredmények arra utalnak, hogy a nanoplazmonikus megközelítés hosszabb távon alternatív irányt jelenthet a fúziós energiakutatásban, ugyanakkor a technológia energetikai alkalmazása további jelentős fejlesztéseket igényel. A fúziós energiatermelés különböző megközelítései – beleértve a nagy léptékű plazmafizikai rendszereket is – jelenleg még kísérleti fázisban vannak.

A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával, a Nemzeti Laboratórium Program keretében valósult meg 2022. október 1. és 2026. március 31. között. A projekt demonstrációs szakasza ezennel lezárult. A kutatás folytatását 2026. április 1-jétől a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont végzi saját forrásból, korlátozottabb kapacitások mellett. A további előrelépés a rendelkezésre álló finanszírozási és kutatási erőforrásoktól is függ. *(HUN-REN Wigner)*

TÚL A KÉMIÁN

Jövendő tűzifahiány Magyarországon

A magyar lakosság meglepően nagy hányada fűt tűzifával, ezért a kereslet-kínálati arányok előrejelzése komoly stratégiai feladat, amely nemzetközi érdeklődésre is számot tart. A közelmúltban jelent meg egy tudományos közlemény a magyar ellátás elemzéséről, s a benne szereplő módszerek más tanulmányok számára is példaértékűek lehetnek. Kétfajta modellt használtak: az egyik a lényegében változatlan külső körülményekre épült (BAU, business-as-usual), a másik viszont jelentősen javuló energiahatékonyságot feltételezett (EE, energy efficiency). A BAU-számítások azt jósolták, hogy 2050-re megkétszereződik, nagyjából évi 10 millió m^3-re növekszik az igény, ami sok térségben hiányhoz vezetne. Az EE-jövőkép az előzőhöz képest mintegy 75%-kal kisebb keresletet jelez előre, amely mindenhol találkozna a kínálattal is. A fő tanulság szerint nemcsak a teljes, országos kitermelést és felhasználást, hanem ennek területi eloszlását is folyamatosan követni kell. *Energ. Policy 215*, 115321. (2026)

Hosszú távú koffeinhatás

Az emberiség számára a koffein az egyik legfontosabb serkentőszer. A tea a víz után a második legnagobb mennyiségben fogyasztott ital a világon, az Amerikai Egyesült Államokban a legtöbb felnőtt pedig egy kávéval indítja a napját. Úgy tűnik, ennek a teljesítménynövelésen kívül egyéb áldásos hatása is lehet. Több mint százezer egészségügyi dolgozó bevonásával, bő négy évtizeden át végzett felmérések elemzésével azt mutatták ki, hogy a koffeint jelentős mennyiségben fogyasztók körében az időskori demencia kialakulásának valószínűsége jelentősen, mintegy 20%-kal kisebb, mint a teát és kávét kerülők között. Hasonló pozitív hatás kimutatható volt más kognitív funkciókban is.

JAMA 335, 961. (2026)

CENTENÁRIUM

Edwin H. Hall: Sand Flotation
Science Vol. 63, p. 571. (1926. június 4.)

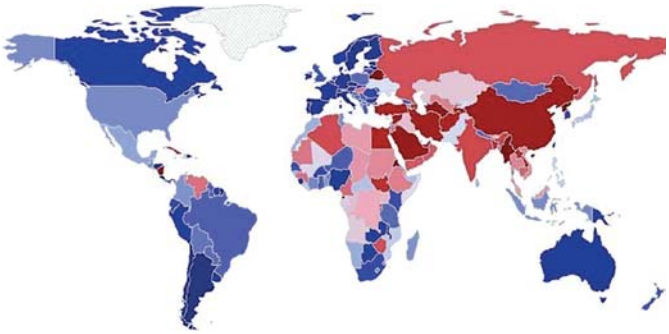
Edwin Herbert Hall (1855–1938) amerikai fizikus volt, kutatásainak középpontjában a termoelektromos jelenségek álltak. A manapság róla elnevezett Hall-effektust fiatalon, 24 éves korában fedezte fel. Ennek lényege, hogy ha egy vezetőben áram folyik, és azt mágneses térbe helyezzük, akkor a töltéshordozó részecskékre Lorentz-erő hat, így a vezető két oldalán potenciálkülönbség alakul ki, amit Hall-feszültségnek neveznek.

Légköri űrszemét

A Föld körül keringő műholdak pályára állítása, majd működése közben keletkező, illetve élettartamának letelte után ott maradó űrszemét problémakörének új dimenzióját világították meg egy tudományos közleményben a közelmúltban. A szerepüket vesztő műholdakat ugyanis éppen a szemétképződés elkerülése végett rendszerint visszavezetik a légkörbe, ahol a súrlódás miatt elégnek. Korábban itt nagyjából véget is ért a gondolatmenet, noha az égéstermékek természetesen nem tűnnek el, hanem a levegőben maradnak. Az új munkában 24 elem légköri mérlegét készítették el. Az emberi űrkutatás évi mintegy 50 tonna rezet ad az atmoszférához, míg természetes forrásokból a kibocsátás alig 2 tonna. Hasonlóak az arányok az alumínium és a lítium esetében is. A megnövekedett légköri fémtartalom hatásait egyelőre nem tudják előrejelezni.

Adv. Space Res. 77, 9589. (2026)

APRÓSÁG



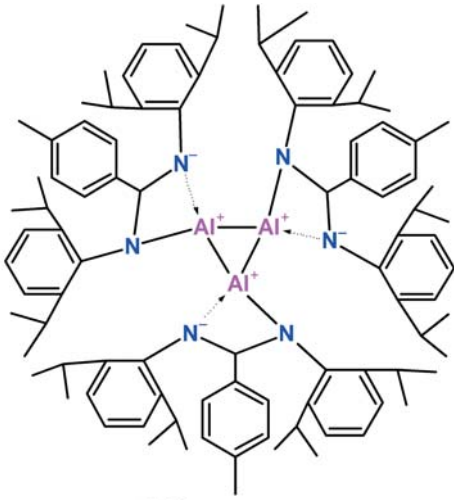
A felsőoktatási és kutatóintézmények függetlenségét, valamint a tudományos munka politikai vagy gazdasági beavatkozástól való mentességét mérő kutatásiszabadság-index 2015 és 2025 között a Föld 50 országában csökkent jelentősen.

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

A HÓNAP MOLEKULÁJA

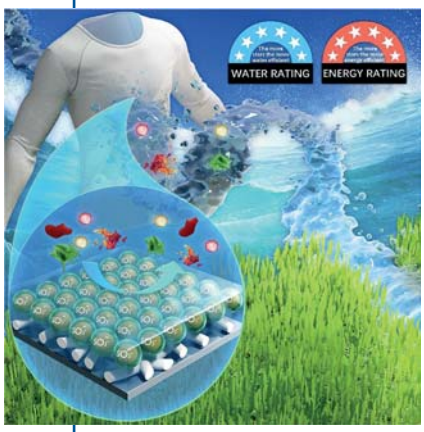
Az ábrán látható ciklotrialumánszármazék ($C_{96}H_{126}Al_3N_6$) az alumínium(I)komplexek közel negyvenéves szintetikus történetének a csúcsa. Szerkezetét röntgendiffrakcióval is sikerült jellemezni: benne az Al-Al kötések átlagos hossza 265 pm, az Al-N kötéseké 197 pm, míg az Al-Al-Al kötésszögek minden esetben majdnem pontosan 60°-osak. A vegyület reakcióképessége igen jelentős: hidrogénnel, alkinekkel és benzollal is kétmagvú komplexeket képez, míg etilénnel a három alumíniumot tartalmazó gyűrű fokozatos bővülésével oligomerizációs katalizátorként viselkedik.

Nat. Commun. 17, 1732. (2026)



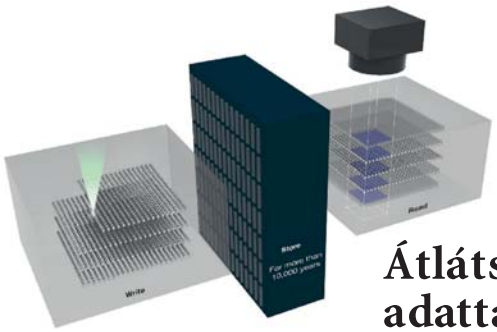
Mosási segítség bevonatképzéssel

A ruhák mosása mind az energiafelhasználáson, mind a szennyvízkibocsátáson keresztül jelentősen hozzájárul a társadalom környezetszennyezéséhez.



Egy újonnan kidolgozott bevonat segíthet mérsékelni ezeket a problémákat. A szövetszálakra öt rétegben felváltva polidiallildimetilammónium-kloridot és polivinilszulfonsavat permetezve olyan felszíni szerkezet jön létre, amelyhez a szennyezőanyagok jóval kevésbé hajlamosak kötődni, így eltávolításukhoz is sokkal kevesebb erőfeszítés, tisztítóanyag és energia elegendő. A bevonat 100 mosás után is megőrizte hatékonyságát, de kemény részecskék, például finom szemcsés homok hatására mechanikai sérülések keletkeztek rajta.

Commun. Chem. 9, 120. (2026)



Átlátszó adattárolás

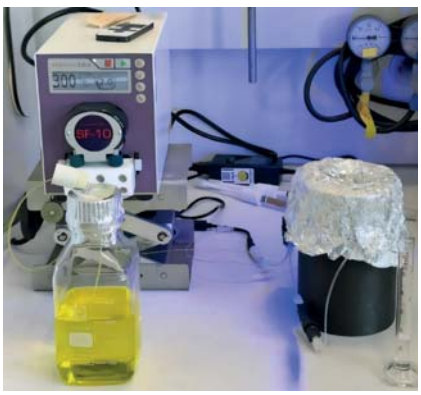
A számítástechnikában manapság használatos adathordozók élettartama korlátozott. A hosszú távú archiválást nagyban elősegítheti az a fejlesztés, amelyről a Microsoft kutatói számoltak be. Ennek során femtoszekundomos lézerimpulzusokkal maradandó szerkezetváltozásokat hoznak létre boroszilikát üvegben, amely megváltoztatja az anyag törésmutatóját. Így megfelelő fókuszálással és az impulzusok szabályozásával nagy mennyiségű információt lehet tárolni viszonylag kis térfogatban. A jelenlegi becslések szerint az így kódolt információ 10 000 évnél hosszabb ideig is változatlanul marad.

Nature 650, 606. (2026)

Új kritikus pont a vízben

Már 1992-ben megszületett az az elméleti feltételezés, hogy a víz rendkívüli tulajdonságainak oka két különböző folyadékfázis létezése. Ehhez a feltételezéshez adott kísérleti hátteret egy közelmúltbeli tanulmány, amelyben nagyon rövid ideig tartó, infravörös lézerimpulzus segítségével jeget olvasztottak meg, majd röntgenszórással követték a változásokat. Az eredmények összhangban vannak azzal, hogy a túlhűtött víznek folyadék-folyadék kritikus pontja van –50 °C és 1000 bar környékén. Az egyik folyadékfázis az, amit jól ismerünk, a másik viszont nagyobb sűrűségű, mert hidrogénkötéseket alig tartalmaz. Hasonlóan a folyadék-gáz kritikus ponthoz, a kritikus hőmérséklet fölött a két fázis már nem válik szét. *Science 391*, 1387. (2026)

Furánfeldolgozás fényes segítséggel



A cellulózszerű anyagokat feldolgozó üzemekben keletkező termékek között gyakran jelentős mennyiségben jelennek meg a furánszármazékok, amelyek hasznos termékké alakításához gyakran több, utólagos redoxireakcióra is szükség van. Ennek a folyamatnak a hatékonyabbá tételét ígéri egy új közlemény, amelyben a furánhidrolízis fotokémiai módját dolgozták ki. Ez szobahőmérsékleten működik, katalizátorként az akridin vagy riboflavin különböző származékait használja, s termékként a borostyánkősav aldehidanalógja, illetve változatos 1,4-ketoaldehidek keletkeznek. A mechanizmusvizsgálat szerint a folyamat kimutatható köztiterméke két furánegységből képződő, tíztagú gyűrűt tartalmaz, amely gyakorlatilag megakadályozza a polimerizációs folyamatokat.

Science 391, 267. (2026)

Válogatás

Az MTA Kémiai Tudományok Osztálya által kiválasztott három publikáció közül az elsőben a szerzők fényenergiát felhasználó replikációs rendszert mutatnak be, amelyben a fehérje szerkezetfüggően segíti a replikátorok szintézisét. A második közlemény szerzői átfogó képet adnak arról, hogy a fényvédők szintetikus UV-szűrői milyen mennyiségben jelennek meg a Balaton vizében, üledékében, a perifitonban és kagylóiban. A harmadik publikáció szerzői által leírt eredmények jelentős előrelépést jelentenek a ^{135}La(III)-alapú radiofarmakonok fejlesztése területén.

Perczel András
az MTA Kémiai Tudományok Osztályának elnöke

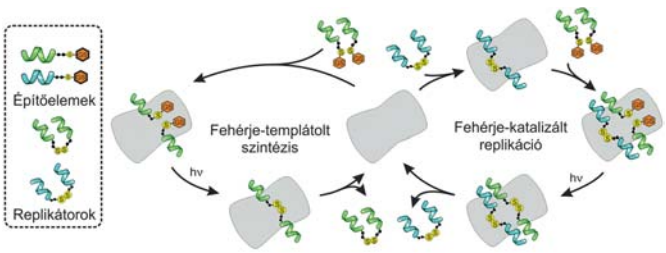
Fény által vezérelt kompetitív szelekció fehérje-katalizált disszipatív peptidreplikációban

Angewandte Chemie International Edition, 2026
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/anie.202518911

Éva Bartus[1], Edit Wéber[1,2], Attila Tököli[1,3], Ferenc Bogár[1,2], Momen R. F. Mohamed[1,4], Gábor Kecskeméti[1], Zoltán Szabó[1], Zoltán Kele[1], András Perczel[5,6,7], Márton Gadanecz[5,7,8], Zoltán Orgován[7,9], György M. Keserű[7,9,10], Tamás A. Martinek[1,2]

[1] Department of Medical Chemistry, University of Szeged, Hungary
[2] HUN-REN-SZTE Biomimetic Systems Research Group, University of Szeged, Hungary
[3] Department of Biochemistry, University of Cambridge
[4] Department of Medicinal Chemistry, Faculty of Pharmacy, Minia University, Egypt
[5] Laboratory of Structural Chemistry and Biology, Institute of Chemistry, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary
[6] HUN-REN-ELTE Protein Modeling Research Group, Institute of Chemistry, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary
[7] HUN-REN Research Centre for Natural Sciences, Drug Innovation Centre and National Drug Discovery and Development Laboratory, Budapest, Hungary
[8] Hevesy György PhD School of Chemistry, Institute of Chemistry, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary
[9] Medicinal Chemistry Research Group, HUN-REN Research Centre for Natural Sciences, Budapest, Hungary
[10] Department of Organic Chemistry and Technology, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary

A munka egy fényenergiát felhasználó replikációs rendszert mutat be, amelyben egy fehérjetemplát erős szelekciós nyomást gyakorol. A fehérje szerkezetfüggően segíti a replikátorok szintézisét és gyorsítja azok replikációját. A korlátozott kötőhelyekért



verseny alakul ki, és a fényintenzitástól függően egyes molekulák előnybe kerülnek másokkal szemben. A folyamat szemlélteti, hogyan alakulhat ki egyszerű kémiai rendszerekből egy olyan hálózat, amely már az evolúcióhoz hasonló viselkedést mutat.

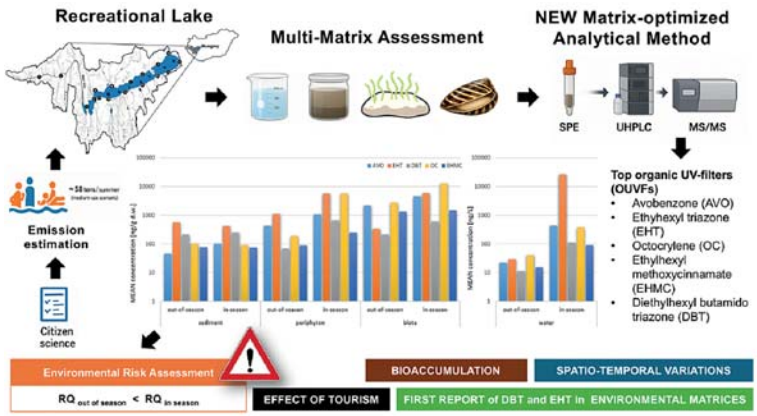
Szerves UV-szűrők többmátrixos vizsgálata Közép-Európa egy kiemelkedő édesvízi rekreációs ökoszisztémájában: tér-időbeli eloszlás és környezeti kockázatértékelés

Water Research, 2026
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313542600610X?via%3Dihub

Zoltán Németh[1,2], István Fodor[2], Réka Svigruha[2], Akos Vertes[3], Zsolt Pirger[2], Eva Molnar[2]

[1] Doctoral School of Environmental Sciences, ELTE Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary
[2] Ecophysiological and Environmental Toxicological Research Group, HUN-REN Balaton Limnological Research Institute, Tihany, Hungary
[3] Department of Chemistry, The George Washington University, Washington, USA

A szerzők elsőként adtak átfogó képet arról, hogy a fényvédők szintetikus UV-szűrői milyen mennyiségben jelennek meg a Balaton vizében, üledékében, a perifitonban és kagylóiban. Kimutatták, hogy nyáron jelentős környezeti terhelés jelentkezik, és a kockázati hányadosok alapján több vegyület esetében magas akut környezeti kockázat azonosítható. Eredményeik felhasználhatók sekély tavak monitorozásában, a környezeti kockázatok becslésében és a megelőző intézkedések tervezésében.

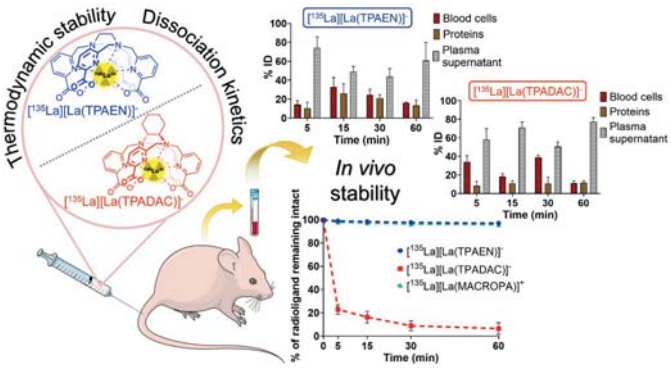


Nyílt láncú dekadentát-kelátorok lantánalapú radiofarmakonok előállításához

Journal of Medicinal Chemistry, 2025
https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jmedchem.5c01558

Antía Freire-García[1], Yasniel Babí Araujo[2], Melinda Wuest[2], Balázs Szilágyi[3], Enikő Madarasi[3], Laura Valencia[4], Saray Argibay-Otero[4], Aurora Rodríguez-Rodrígue[1], David Esteban-Gómez[1], Gyula Tircsó[3], Frank Wuest[2], Carlos Platas-Iglesias[1]

[1] CICA – Centro Interdisciplinar de Química e Bioloxía and Departamento de Química, Facultade de Ciencias, Universidade da Coruña, Galicia, Spain
[2] Department of Oncology, University of Alberta, Edmonton, Canada
[3] Department of Physical Chemistry, Faculty of Science and Technology, University of Debrecen, Hungary
[4] Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Ciencias, Universidade de Vigo, As Lagoas, Marcosende, Spain



A tanulmány két pikolinát-alapú kelátor előállítását, valamint La(III)-ionnal képződő komplexeik szerkezeti, termodinamikai, kinetikai és radiokémiai vizsgálatát ismerteti. Mindkét ligandum nagy stabilitású komplexet képez a La(III)-ionnal, amelyben a kelátor összes donoratomja koordinálódik a fémionhoz, mind szilárd fázisban, mind oldatban. A kelátorok hatékonyan jelölhetők a ^{135}La(III)-izotóppal enyhén savas (pH 4–5) közegben, alacsony kelátorkoncentráció mellett is. Az in vitro és in vivo eredmények alapján a TPAEN La(III)-komplexe lényegesen stabilabb a szerkezetileg rokon TPADAC-analógnál, és egészséges egerekben az injektálást követő 60. percben is intakt marad. Ezen eredmények jelentős előrelépést jelentenek a 135La(III)-alapú radiofarmakonok fejlesztése területén.

A Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Osztályának szeptemberi programteve

- szeptember 2. MTA200 – Kémiai Tudományok Osztályának kiállításmegnyitója az MTA Székház aulájában

- szeptember 3.
  - 10.00 óra: A jövő kenyere: tudomány a gabonaszem mögött

- szeptember 9.
  - 10.00 óra: A szépség kémiája – Kozmetikumok tudománya az anyagoktól a molekulákig
  - 14.00 óra: Műanyagok: barát vagy ellenség?

- szeptember 14.
  - 10.00 óra: Molekulák a menüben – a gasztronómia kémiája
  - 14.00 óra: Mézbe zárt idő

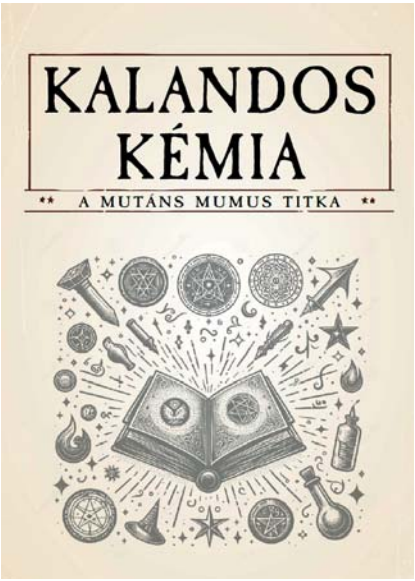
- szeptember 15.
  - 14.00 óra: A mutáns mumus titka – könyvbemutató az általános iskolai kémiatanításhoz

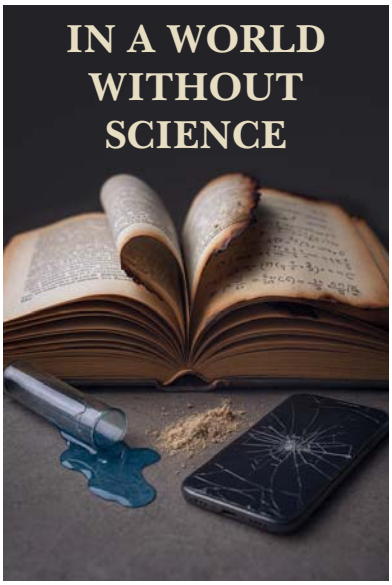
- szeptember 17.
  - 10.00 óra: A fájdalomcsillapítás molekulái
  - 14.00 óra: Természet és technológia a gyógyszerészetben – növényi hatóanyagoktól az innovatív gyógyszerhordozókig

- szeptember 21.
  - 10.00 óra: Kémiai környezeti kockázati tényezők és hatásaik
  - 14.00 óra: Tiszta Energia a molekulákban – Hogyan segíti a kémia a fenntarthatóságot?

- szeptember 24–25.: *Molecular Frontiers* Szimpózium Budapest, 2026

- szeptember 29.
  - 10.00 óra: Molekuláktól a gyógyításig: a 3D nyomtatás tudományformáló ereje
  - 14.00 óra: Kémia a képzőművészet mögött





← Molecular Frontiers Szimpózium

A Jövő Mérnökei – Fenntarthatósági Szakmai Nap környezetmérnököknek és leendő környezetmérnököknek

Óbudai Egyetem, 2026. április 15.

Az Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Karának Környezetmérnöki és Természettudományi Intézete együttműködő partnereivel együtt szakmai napot szervezett a fenntarthatóság aktuális kérdéseiről és a jövő mérnöki megoldásairól – környezetmérnököknek és leendő környezetmérnököknek. Az immár hagyományos, évenként megrendezett szakmai napok célja a szakma szépségeinek és kihívásainak bemutatása elsősorban a kar és leendő hallgatói számára a környezetmérnöki szakterület jeles képviselőinek előadásain keresztül. A program a fenntarthatóság jegyében nyitott a középiskolás fiatalok számára is, ebben az évben az egyetemi hallgatók mellett két középiskola, a Petrik Lajos Két Tanítási Nyelvű Technikum, valamint a Than Károly Technikum és Szakképző Iskola tanulói is aktív résztvevői voltak e rendezvénynek.

Az első és a második sorban az Óbudai Egyetem és az együttműködő szervezetek képviselői

A szervezésben szakmai együttműködő partnerek voltak: a Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség, a Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetsége, valamint a Magyar Kémikusok Egyesülete.

A színes és érdekes rendezvény keretében előadások hangzottak el környezeti ipari témákban, interaktív programok zajlottak az előadások szünetében az előadók, illetve a rendezvény szervezésében együttműködő partnerek által képviselt szervezetek, cégek részvételével, kerekasztal-beszélgetésre került sor „Fiatalok a környezetmérnöki szakmában” címmel.

Az előadásokról az alábbiakban számolunk be.

Szilasi János vezérigazgató (Toyota Sakura): *Hidrogénhajtás és hibrid rendszerek az autóiparban;*

Becz Barnabás Álmos biológus-mérnök (Fővárosi Csatornázási Művek): *Hogyan segítik az egysejtűek a szennyvíztisztítást;*

Nagy Ferenc ügyvezető (Imagináció Mérnökiroda Kft.): *A légköri hőmérséklet, inverzió erősítő hatása a légszennyezéseknél;*

Tóth György István kiemelt műszaki referens (Országos Vízügyi Igazgatóság): *A Balaton vízminőségi és „mennyiségi” kérdései;*

Farkas Béla műszaki igazgató (Envirotis Holding): *Akkumulátoripari engedélyezési, működési és jogi anomáliákból levonható tapasztalatok;*

A Fővárosi Csatornázási Művek bemutatói

A Fővárosi Vízművek és a MASZESZ bemutatója

Jeney Judit ügyvezető (Austin AI Europe Kft.): *A LIBS alapú fémhulladék-válogatás mint a dekarbonizációs folyamatok egyik fő alappillére.*

Az angol nyelű oktatásban részt vevő hallgatók kérésére az angol nyelvű szekcióban:

Serény József ügyvezető igazgató (Envirosys Kft.): *Greywater recycling using membrane technology;*

Nagymezei Csenge technológus mérnök (Fővárosi Csatornázási Művek): *Options for the fourth stage of wastewater treatment – removal of micropollutants from wastewater;*

Lippai Anett mikrobiológiai és ökotoxikológiai vezető (Biokör Technológiai és Környezetvédelmi Kft.): *Legionella colonization in constructed water systems;*

Alsughair Aws Husam Fahmi, Dewar Robert Andras, Parekh Preet Kalpeshkumar (az Óbudai Egyetem másodéves BSc hallgatói): *On the Water, Learning by Doing: Insights from Aquatic Plastic and the PET Plastic Cup.*

Buzás Ilona

Vegyipari mozaik

A Richter megkapta az Európai Bizottság jóváhagyását a Tuyory® bioszimiláris tocilizumab-termékére több indikáció esetére. A készítményt a Richter és a Mochida Pharmaceutical Co., Ltd. közösen fejlesztette ki. A döntés alapja az Európai Gyógyszerügynökség („EMA") Emberi Felhasználásra Szánt Gyógyszerek Bizottsága („CHMP") által kiadott – 2026. február 27-én bejelentett – pozitív szakvélemény. A forgalomba hozatali engedély az Európai Unióra, Izlandra, Liechtensteinre és Norvégiára vonatkozik.

„A Tuyory® nevű, tocilizumab bioszimiláris készítményünk európai jóváhagyása újabb fontos mérföldkő a Biotechnológiai Üzletágunk számára, melynek küldetése, hogy magas minőségű biológiai készítményekhez biztosítson széles körű hozzáférést azon betegek számára, akik krónikus gyulladásos betegségekben szenvednek. Ezen törzskönyv megszerzése újabb bizonyítéka sikeres bioszimiláris fejlesztéseinknek és erősíti reumatológiai portfóliónkat is, valamint lehetővé teszi, hogy egy megbízható, megfizethető, Európában fejlesztett és gyártott készítményt juttassunk el európai betegeinkhez" – mondta el Dr. Bogsch Erik, a Richter Biotechnológiai Üzletágának vezetője.
(https://www.gedeonrichter.com)

RICHTER GEDEON

Tájékoztatás az ABBV-932 (RGH-932) bipoláris depresszió kezelését célzó fázis II klinikai vizsgálatáról. A Richter Gedeon tájékoztatást adott az új, vizsgálati fázisban lévő hatóanyag, az ABBV-932 (RGH-932) bipoláris depresszió kezelésére irányuló, feltáró jellegű, 6 hetes fázis II klinikai vizsgálatáról.

Az ABBV-932 (RGH-932) a Richter kutatói által felfedezett, az AbbVie és a Richter által közösen fejlesztett, egyes neuropszichiátriai rendellenességek kezelésére vizsgálati fázisban lévő gyógyszerjelölt.

A vizsgálatba összesen 161 beteget vontak be véletlenszerű elosztásban, őket vagy a három aktív (alacsony, közepes vagy magas dózisú) vagy a placebokarba sorolva. Az elsődleges vizsgálati végpont a Montgomery Asberg Depression Rating Scale (MADRS) skálán mért változás volt. A vizsgálatban a hatóanyaggal kezelt és a placebokezelésben részesült csoportok között megfigyelt összesített különbség egyik dózisnál sem volt statisztikailag szignifikáns, ugyanakkor az előre meghatározott alcsoport-elemzés során a bipoláris 1-es zavarral diagnosztizált betegek körében a hatásosság jele észlelhető volt. Az ABBV-932 a vizsgált valamennyi dózistartományban általánosságban biztonságosnak és tolerálhatónak bizonyult. Az ABBV-932 biztonságossági profilja összességében hasonló volt a placebóéhoz, beleértve az extrapiramidális mellékhatások előfordulási arányát is, ami egy, a kariprazinnál – szintén a Richter által felfedezett és több indikációban, köztük bipoláris 1 depresszióban az Egyesült Államokban forgalmazott originális gyógyszernél – potenciálisan kedvezőbb tolerálhatósági profilt jelez. Jelenleg is folyik az ABBV-932 (RGH-932) bipoláris 1 depresszió indikációban történő további fejlesztésének lehetséges következő lépéseire vonatkozó értékelés.

Az ABBV-932 (RGH-932) általános szorongásos zavar indikációban is vizsgálat alatt áll fázis II klinikai vizsgálat keretében.

Bővebben a vizsgálatról: Ez egy randomizált, kettős vak, placebo-kontrollált, fix dózisokat alkalmazó, párhuzamos karos vizsgálat volt, amely a napi egyszer adagolt ABBV.932 (RGH.932) hatásosságát, biztonságosságát és tolerálhatóságát értékelte bipoláris depresszióban szenvedő betegek körében. A kimosási (washout) periódust követően összesen 161, 18 és 65 év közötti beteget vontak be véletlenszerű beosztásban, akik az ABBV-932 (RGH-932) három különböző dózisszintjének egyikét vagy placebót kaptak. A vizsgálati protokoll az elsődleges végpontot a MADRS skálán mért, a kiindulási állapothoz képest a 6. hétre bekövetkezett összpontszám-változásban határozta meg a placebóhoz viszonyítva. *(https://www.gedeonrichter.com)*

Schneider Electric Deloitte.

Schneider Electric–Deloitte összefogás az ipar digitális átállásához. A mesterséges intelligencia (MI) és a fejlett analitika integrálása, a nyílt, szoftveralapú automatizációs platformokban rejlő lehetőségek kihasználása, alkalmazkodóképes, a hatékonyságot és a rugalmasságot javító üzemeltetési folyamatok megvalósítása – többek között ezt kínálja a vállalkozások számára a Schneider Electric és a Deloitte együttműködése.

Napjainkban minden eddiginél nagyobb nyomás nehezedik a vállalatokra, hogy a hatékonyság megőrzése mellett bővítsék tevékenységüket, miközben a költségeket is kontroll alatt tartsák. Sok cég ennek ellenére továbbra is ragaszkodik az elavult működési modellekhez, amelyek egy gyorsan változó piaci környezetben korlátozzák az innovációs lehetőségeiket, valamint az alkalmazkodó- és versenyképességüket. Ez a probléma különösen élesen jelentkezik az eszközigényes iparágakban, ahol a mesterséges intelligencia, az IT/OT (információs technológia/üzemeltetési technológia) integráció és a digitális platformok együttes megjelenése jelentősen átformálja a lehetőségeket. Ezeknek a kihívásoknak a leküzdése és az új távlatok megnyitása nem csupán technológiát igényel: a vállalatoknak világos stratégiákra, bevált módszertanokra és megbízható ökoszisztémákra van szükségük annak érdekében, hogy tartósan magas színvonalon működhessenek.

A Schneider Electric, a világ egyik vezető energiatechnológiai vállalata és a Deloitte a Hannover Messe kiállításon jelentette be együttműködését, amelynek célja, hogy segítse az ügyfeleiket – a termelőcégektől és egyéb ipari szereplőktől kezdve az adatközpont üzemeltetőkig és infrastruktúra-szolgáltatókig – a teljes üzleti tevékenységükre vonatkozóan a folyamataik modernizálásában és új lehetőségek kiaknázásában. A partnerség eredményeként a cégek a versenyképességük digitális korszakban való megőrzéséhez szükséges, vállalati szintű átalakuláshoz egyszerre kaphatják meg a Deloitte stratégiai tervezés, folyamat- és technológiai átalakítás területén meglévő tudását és a Schneider Electric szakértelmét, valamint az MI-alapú üzemeltetési és szoftvertechnológiáját.

A két cég többek között már bizonyított IT/OT integrációs megoldásokkal modernizálja az ügyfelek ipari működését és támogatja az átfogó digitális átalakulásukat. Lehetőséget kínálnak arra is, hogy a vállalkozások megszabaduljanak az elkülönülten működő, elavult rendszereiktől és jobban kihasználják a nyílt, szoftveralapú automatizálási platformok előnyeit. A Schneider Electric és a Deloitte együttműködése révén kínált megoldásokkal az ügyfelek integrálhatják a mesterséges intelligenciát a fejlett analitikával, jelentősen lerövidítve így az időt, amíg a beruházásaikból jövedelemtermelő tevékenységek lesznek, javítva ezáltal az üzleti hatékonyságot. Megnyílik a lehetőség arra is, hogy a hatékonyságot és rugalmasságot javító, alkalmazkodóképes és jövőálló működési modellt vezessenek be a cégek.
(https://www.se.com/hu/hu/)

Fényvillanással mérik a láthatatlant Szegeden. Az ionizáló sugárzás pontosabb és költséghatékonyabb érzékelését segítheti az a fejlesztés, amelyért Innovációs Díjban részesült Hajdu Cintia, a Szegedi Tudományegyetem Kémia Doktori Iskolájának PhD-hallgatója. A díjat a Leginnovatívabb PhD-munka kategóriában nyerte el új generációs, réz-halogenid-alapú sugárzásérzékelő anyagok fejlesztéséért.

A kutatás középpontjában tehát a réz-halogenid-alapú anyagok állnak. Ezeket nem hagyományos kristályként, hanem mikrométeres vastagságú vékonyréteg formájában állítják elő. Ez a megoldás számos előnyt kínál: stabilabb működést, kisebb háttérzaj-érzékenységet és pontosabb mérést az alacsonyabb energiájú sugárzások esetében.

Nem mellékes szempont az sem, hogy az új technológia ipari méretekben is gyártható lehet. Ez jelentősen csökkentheti a jövő detektorainak előállítási költségeit.

A fejlesztés során a mintákat UV-fénnyel vizsgálják. Ha az anyagot sikerül gerjeszteni, akkor a kutatók részletesen elemzik a szerkezetet, az összetételt és az optikai tulajdonságokat, mielőtt nagy energiájú tesztekre továbbküldenék a mintákat.

A fejlesztés egyik legfontosabb innovációs eleme az alkalmazott gyártási technológia. A vékonyrétegeket oldat-porlasztásos módszerrel állítják elő, amely automatizálható és költséghatékony megoldást kínál.

Az alkalmazási lehetőségek rendkívül szélesek: sugárzásmérő műszerek, orvosi diagnosztikai berendezések, kutatólaborok és akár űripari rendszerek is profitálhatnak a szegedi eredményekből.

A kutatás témavezetői Janáky Csaba és Samu Gergely Ferenc, a fejlesztésben pedig kulcsszerepet játszott a debreceni Atommagkutató Intézet (ATOMKI) kutatóivalvaló együttműködés.

Az Innovációs Díj megerősíti, hogy a Szegedi Tudományegyetemen folyó kutatás nemcsak tudományos szempontból kiemelkedő, hanem a jövő technológiai megoldásaihoz is hozzájárulhat.
(szegedma.hu, www.muszaki-magazin.hu)

Nemzetközi kutatási együttműködésben fejlesztenek extrém körülmények között működő kvantumszenzorokat a HUN-REN Wigner kutatói. A HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont kutatói a nemzetközi SENSEXTREME projekt keretében olyan gyémántalapú kvantumszenzorok fejlesztéséhez járulnak hozzá, amelyek szélsőséges körülmények között is nagy pontosságú méréseket tesznek lehetővé. A nemzetközi kutatást a Gali Ádám kutatóprofesszor vezette magyar csoport elsősorban elméleti számításokkal és számítógépes modellezéssel támogatja. Az eredmények a kvantumtechnológia fejlődése mellett hosszabb távon energiahatékony ipari alkalmazások előtt is új lehetőségeket nyithatnak, a magyar részvétel pedig hozzájárult ahhoz is, hogy Európa – és benne Magyarország – a jövőben meghatározó szereplője legyen a kvantumtechnológia jövőbeni fejlesztéseinek.

A kvantumtechnológia gyors fejlődésével egyre nagyobb szerepet kapnak a rendkívül pontos mérések elvégzésére alkalmas szenzorok. Különösen ígéretesek a szilárdtest-alapú kvantumszenzorok, amelyek speciális anyagokon, például gyémánton alapulnak.

Az ipari és kutatási alkalmazások szempontjából kulcsfontosságú, hogy ezek a kvantumrendszerek szélsőséges körülmények között is megbízhatóan működjenek, például nagyon alacsony hőmérsékleten, nagy nyomáson vagy erős mágneses térben.

A HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont kutatói a SENSEXTREME nevű nemzetközi projekt keretében ezen a területen dolgoztak együtt francia, német, litván és svájci kutatókkal. A kutatás olyan új típusú kvantumszenzorok kifejlesztésére irányult, amelyek a gyémántban található úgynevezett színcentrumok segítségével az említett extrém környezetben is pontos méréseket tudnak végezni. Ilyen színcentrumok például a vakanciákkal kombinált adalékok, olyan pontszerű hibák, ahol a gyémánt kristályszerkezetéből hiányzik egy atom és hozzáadunk idegen atomokat.

A projekt során a kutatók a gyémántalapú kvantumszenzorok teljesítményének növelésén dolgoztak. A fejlesztéshez a magyar kutatók tehát elméleti számításokkal és számítógépes modellezéssel járultak hozzá. A magyar kutatócsoport azt vizsgálta, hogyan viselkednek a gyémántban létrehozott kvantumhibák, például a szilícium- és ónvakancia-színcentrumok különböző anyagi és környezeti feltételek mellett. Emellett azt is tanulmányozták, miként lehet nagy mágneses tereket mérni rendkívül alacsony hőmérsékleten és nagy nyomáson, ami elengedhetetlen az új típusú kvantumszenzorok fejlesztéséhez.

„A célunk az volt, hogy pontosan megértsük, miként lehet ezeket a kvantumállapotokat atomnyi pontossággal stabilizálni, és hogyan hasonlíthatók össze a különböző tulajdonságaik. Így a mérendő fizikai mennyiségek, például a nyomás, a hőmérséklet vagy a mágneses tér egymáshoz kalibrálhatók” – emelte ki Gali Ádám, a projekt vezető magyar kutatója, a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont kutatóprofesszora.

Az elméleti számítások azt is lehetővé teszik, hogy nagyon alacsony hőmérsékleten vagy extrém nagy nyomáson is lehessen kis térbeli felbontással mágneses tereket mérni, ami új anyagok, például szupravezetők fejlesztéséhez is hozzájárulhat.

A SENSEXTREME projekt eredményei hosszabb távon nemcsak a rendkívül pontos, extrém körülmények között működő szenzorok fejlesztését segítik, hanem a fenntartható fejlődéshez elengedhetetlen, a jelenleginél jóval energiatakarékosabb motorok és egyéb berendezések előállítását is lehetővé teszik.

A magyar kutatók közreműködése hozzájárul ahhoz, hogy a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont és rajta keresztül Magyarország aktívan részt vegyen az európai kvantumtechnológiai fejlesztések formálásában, erősítve a kontinens hosszú távú versenyképességét ezen a területen. *(HUN-REN Wigner)*

Dobó Dorina összeállítása

MKE-HÍREK

Kristályosítási és Gyógyszerformulálási Kerekasztal

Nagy sikerrel rendezték meg a 2026. évi MKE Kristályosítási és Gyógyszerformulálási Kerekasztalt Balatonszemesen, a Richter Gedeon üdülőjében május 5. és 6. között. A mintegy 60 fős Kerekasztal idén is magas szakmai színvonalon és baráti hangulatban telt. A plenáris előadásokat

Gyógyszerhatóanyagok szemcseméret mérésének és a szemcseméret-követelmény felállításának nehézségei címmel Farkas Ferenc és Solymos Tamás (Egis Gyógyszergyár Zrt.), valamint

A Kariprazin szájban diszpergálódó tabletta fejlesztése és engedélyeztetése életciklus-menedzsment termékként címmel Konta Melinda (Richter Gedeon Nyrt.) tartották.

MKE-szakosztályvezetői találkozó

2026. április 9-én (csütörtökön) tartották az MKE Szakosztály/Szakcsoport/Területi szervezet/Munkahelyi Csoport vezetőinek éves vezetői értekezlet találkozóját az ELTE TTK Richter-teremben. Az éves találkozón a szakosztályok képviselői a beszámolók mellett a szinergiákat és együttműködési lehetőségeket is megvitatták.

Curie Kémia Emlékverseny döntő Szolnokon

2026. április 24-én rendezték meg a kémia területén a **Curie Emlékverseny** országos döntőjét a Szolnoki SZC Pálfy – Vízügyi Technikumban. A versenyfeladatok javítása közben Szántay Csaba tartott a tehetségről előadást az MKE Trícium zenekar dalbetéteivel, majd Murányi Zoltán a főtéren tartott kísérleti bemutatót.

A verseny eredményei elérhetők a verseny honlapján: www.curiealapitvany.hu

Igényfelmérés az iskolai szertárak szabályos rendjéről

Régóta kérdőjel mind a gyakorló pedagógusok, mind a fenntartó, mind a hatóság szemében az iskolai szertárak szabályos rendje. A probléma gyökere abból fakad, hogy az egyes jogszabályok elsősorban a vállalati és kutatólaboratóriumi (vegyszertárolási és vegyszerkezelési) helyzetet tisztázzák, a köznevelési és szakképzési oktatási környezetben nem feltétlenül könnyen értelmezhetők. A helyzet tisztázása érdekében a Kémia Mindenkinek program keretében felmérést végzett az MKE Kémiatanári Szakosztálya, melyet 42 tanár töltött ki. A Szakosztály célja egy precízen összeállított, minden érintett számára könnyen átlátható, érthető és használható segédanyag létrehozása, együttműködésben az MKE Vegyipari Biztonságtechnikai Szakosztállyal és természetesen a hatóságok képviselőivel. Folyamatosan hírt adunk a projekt előrehaladásáról.

HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL

LXXXI. No. 6. June

CONTENTS

58th Irinyi János Secondary School Chemistry Competition – final **166**
KATALIN ŐSZ and GÁBOR LENTE
SuperSmartLab: innovative chemistry courses at ELTE **169**
GÁBOR MAGYARFALVI, ÁGNES SZABADOS, and GYÖRGY TARCZAY
A shared dream **171**
KINGA BENCZE
Legal status, nature, and volume of waste generated in domestic lithium-ion battery cell manufacturing **174**
RÓBERT KUN, GERGELY I. PÁLINKÁS, and GÁBOR SCHMIDTKA
Emergency signals organized in systems: photoluminescent directional signs **181**
TAMÁS AGÁRDI
Obituary
György Pokol (1950–2026) **183**
LÁSZLÓ NYULÁSZI
X-ray protective clothing and shields **184**
CSABA KUTASI
Chembits **188**
GÁBOR LENTE
Publication of the month **190**
News of the month **191**

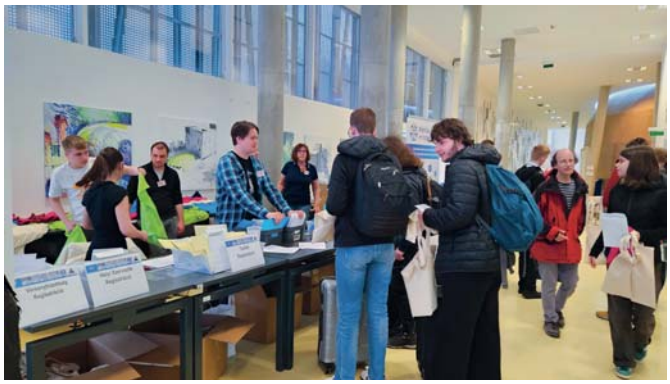
Az MKE rendezvénynaptára 2026

Dátum	Rendezvény	Helyszín
június 1–3.	Peptidkémiai Munkabizottság ülése	Balatonszárszó
június 1–3.	MKE–MTA Heterociklusos és Elemorganikus Kémiai Munkabizottság ülése	Balatonszemes
június 8–9.	MKE–MTA NMR-munkabizottság ülése	Balatonszemes
június 8–10.	Szerves és Gyógyszervegyész Konferencia	Esztergom
június 21–24.	21st Blue Danube Symposium on Heterocycles in Chemistry	Győr
június 22–24.	56. Kromatográfiás Továbbképző Tanfolyam	Szeged
június 22–26.	Varázslatos Kémia tábor a Debreceni Egyetemen	Debrecen
június 29 – júl. 3.	Varázslatos Kémia tábor az Eszterházy Károly Katolikus Egyetemen	Eger
július 12–16.	10th EuChemS Chemistry Congress (ECC10)	Antwerpen
július 13–17.	Varázslatos Kémia tábor a Miskolci Egyetemen	Miskolc
július 20–24.	Varázslatos Kémia tábor az Eötvös Loránd Tudományegyetemen	Budapest
július 27–31.	Varázslatos Kémia tábor a Pannon Egyetemen	Veszprém
aug. 30. – szept. 3.	European Symposium on Analytical Spectrometry (ESAS)	Budapest
szept. 27–30.	12th Conference on Colloid Chemistry – 12CCC	Budapest
október 12–14.	31. Őszi Radiokémiai Napok	Balatonszárszó
október	Kémiai Előadói Napok	Szeged
november	Borsodi Vegyipari Nap	Miskolc
november 12.	Kozmetikai Szimpózium	Budapest
november 24–25.	XIV. Nemzetközi Festékipari Kiállítás és Konferencia	Budapest
december	Tömegspektrometriai Szakmai Nap	Budapest

Az Irinyi-verseny döntőjéből válogatott feladatok megoldása

1a) $CH_4 + H_2O \rightleftharpoons CO + 3\,H_2$
1b) $K_c = 0{,}344\ mol^2/dm^6$
1c) 239 g
2a) $2\,SO_2 + O_2 = 2\,SO_3$
2b) Sára vett mintát korábban.
2c) 115 g.
2d) $[SO_3]_e = 0{,}80\ mol/dm^3$, $K_c = 0{,}278\ dm^3/mol$
2e) Mind a négy időpontban 192 g/dm^3
3) Nb_5Se_4

Képek az 58. Irinyi János Középiskolai Kémiaverseny döntőjéről



CSONKA KRISZTINA FELVÉTELEI

Thermo
SCIENTIFIC

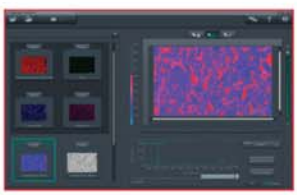
Raman mikroszkópia gyorsan, vizuálisan

A Raman képalkotás korábban specialisták működési területe volt. Mára azonban számos olyan alkalmazási területen is fontos eszközzé vált, ahol a felhasználók nem spektroszkópiai szakértők. A **Thermo Scientific DXR™xi képalkotó Raman mikroszkópokban** alkalmazott új műszaki és szoftveres képalkotó megoldások teljesen vizuálissá tették a készülékek használatát, így a technika helyett elsősorban a kérdésekre és a kapott válaszokra lehet fókuszálni.

... kompromisszumok nélkül.

• thermoscientific.com/DXRxi

DXR™xi Raman képalkotó mikroszkóp
Nagyteljesítményű, integrált Raman képalkotó rendszer



Thermo Scientific OMNIC™xi Raman képfeldolgozó szoftver
Teljesen vizuálisan kezelhető, gyors, Raman spektroszkópián alapuló képalkotás

Kizárólagos képviselet:

UNICAM Magyarország Kft., 1144 Budapest, Kőszeg utca 29.

Telefon: +36 1 221 5536

E-mail: unicam@unicam.hu • Web: www.unicam.hu

UNICAM
Magyarország Kft.