

A TARTALOMBÓL:

- Kutatásalapú kémiatanulás az általános iskolákban?
- Nagy kihívás a légi szállítás dekarbonizációja
- Interjúk Timári Gézával és Kozma Gáborral
- IgNobel-díjak a Vízöntő jegyében



# MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA

A MAGYAR KÉMIKUSOK EGYESÜLETE HAVONTA MEGJELENŐ FOLYÓIRATA • LXXIX. ÉVFOLYAM • 2024. SZEPTEMBER • ÁRA: 950 FT

## Az új Richter Központ



A kiadvány  
a Magyar Tudományos  
Akadémia  
támogatásával készült



Journal of Fluorine Chemistry 276 (2024) 110278

**Journal of Fluorine Chemistry**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/fluor](http://www.elsevier.com/locate/fluor)



## Synthesis of *gem*-bromofluoroolefins using singlet bromofluorocarbene generated from ethyl dibromofluoroacetate via a Wittig-type reaction

Matthew Coe<sup>†</sup>, Fanni Bede<sup>†,§</sup>, Christopher J. Koch, Danelle Daria Espiritu<sup>†</sup>, G. K. Surya Prakash<sup>\*</sup>

Loker Hydrocarbon Research Institute and the Department of Chemistry, University of Southern California, Los Angeles, CA 90089, United States

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Ethyl dibromofluoroacetate  
Bromofluorocarbene  
Triphenylphosphine  
Wittig-type reaction  
Gem-bromofluoroolefins

### ABSTRACT

A halon-free method for the synthesis of *gem*-bromofluoroolefins utilizing ethyldibromofluoroacetate is disclosed via a Wittig type reaction. The reaction system takes advantage of inexpensive and readily available reagents. The method was applied to a wide variety of aryl aldehydes. Both electron donating and electron withdrawing moieties on the aryl ring were tolerated and the desired olefin products were obtained in good to excellent yields.

**A Megújuló Energiák Nemzeti Laboratórium létrehozását a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta az RRF-2.3.1-21-2022-00009 azonosító számú projekt keretében.**



Chemical Engineering Journal Advances 17 (2024) 100586

**Chemical Engineering Journal Advances**

journal homepage: [www.sciencedirect.com/journal/chemical-engineering-journal-advances](http://www.sciencedirect.com/journal/chemical-engineering-journal-advances)



## Model-based determination of optimal operating parameters for different solid waste gasification

Szabina Tomasek<sup>a</sup>, Ágnes Bárkányi<sup>b</sup>, Attila Egedy<sup>b</sup>, Norbert Miskolczi<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Faculty of Engineering, Research Centre of Biochemical, Environmental and Chemical Engineering, MOL Department of Hydrocarbon and Coal Processing, University of Pannonia, Egyetem u. 10, Veszprém, H-8200, Hungary

<sup>b</sup> Faculty of Engineering, Research Centre of Biochemical, Environmental and Chemical Engineering, Department of Process Engineering, University of Pannonia, Egyetem u. 10, Veszprém, H-8200, Hungary

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Steam gasification  
Different raw materials  
Aspen Plus-MATLAB modelling  
Validation  
Optimisation

### ABSTRACT

In this study a 2D visualization technique is presented that is suitable for determining the optimal operational parameters of solid waste gasification depending on the intended use of the product. Steam gasification of different wastes (wheat straw, wood, municipal solid waste (MSW), polyethylene (PE), green waste) was modelled in Aspen Plus simulation software, validated with literature data and a MATLAB – Aspen Plus inter software connection was also created to minimize the possibility of errors when the raw material composition and other parameters are changed. Correlation was found between the simulation and literature data; therefore, the model was also suitable for evaluating the effects of process parameters ( $T = 650\text{--}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , steam rate =  $0\text{--}1.5\text{ kg/h}$ ) on gas composition, lower heating value and  $\text{H}_2/\text{CO}$  ratio. The model was also extended to a wide range of domestic waste types, making it possible to determine the optimal process parameters without performing a high number of time- and energy-intensive gasification experiments. Regarding the process parameters it was established that the temperature has a significant effect on the gasification reactions and shifts the chemical reactions towards hydrogen and carbon monoxide formation, but above  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  it has a limited effect on the gas composition, lower heating value and  $\text{H}_2/\text{CO}$  ratio. The increasing steam rate also facilitated the hydrogen and carbon monoxide formation, but above a certain ratio its effect was opposite due to the water-gas shift reaction and the shorter residence times. The obtained gases can be used for energy purposes or as raw material for Low-Temperature Fischer-Tropsch synthesis, or production of aldehyde, higher alcohol, acetic acid

**A Megújuló Energiák Nemzeti Laboratóriumot létrehozó intézmények: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Debreceni Egyetem, HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, Miskolci Egyetem, Neumann János Egyetem, Pannon Egyetem, Pécsi Tudományegyetem, Széchenyi István Egyetem, Szegedi Tudományegyetem, HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont.**



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,  
SKODÁNE FÖLDES RITA,  
SZÉPVÖLGYI JÁNOS, TÖMPE PÉTER,  
ZÉKÁNY ANDRÁS

## Szerkesztők:

ANDROSITS BEÁTA, DOBÓ DORINA,  
KEGLEVICH KRISTÓF, KERTI GÁBOR,  
NAGY GÁBOR, PAP JÓZSEF SÁNDOR

## Szerkesztőségi titkár: SÜLI ERIKA

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

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

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

Terjeszti a Magyar Kémikusok Egyesülete  
Az előfizetési díjak befizethetők a CIB Bank  
10700024-24764207-51100005 sz.  
számlájára „MKL” megjelöléssel  
Előfizetési díj egy évre 11 400 Ft  
Egy szám ára: 950 Ft. Külföldön terjeszti  
a Batthyány 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:  
SÜLI 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.2024.09

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



Egyszerre jó és rossz érzés kézbe venni a Magyar Kémikusok Lapja szeptemberi számát. Fájó, mert eszünkbe juttatja, hogy elmúlt a nyár, a szabadság, a feltöltődés ideje. Örvedetes ugyanakkor a lap megjelenése és színes tartalma. Két terjedelmes tanulmány indul. Az első – a tanévkezdéshez igazodva – iskolai témájú. Címe erős fölütés: lehetséges-e kutatásalapú kémiatanulás és kémiatanítás általános iskolában? Ha valakit megriasztana az értekezés hossza, lapozzon a 257. oldalra, és gondolja meg, milyen ötletes, ám egyszerű, általános iskolások számára is befogadható kísérleti módszereket javasol a cikk bonyolultabb fogalmak (pl. vízlágyítás, redukálósor) bemutatására – remélem, ez meghozza a kedvet a közlemény elolvasásához. A második nagyobb lélegzetű tanulmány a cseppfolyós sugárhajtómű-üzemanyagok jellemzőit mutatja be „zöld” összefüggésben, abban a kontextusban, hogy miképp szintetizálhatóak ilyesféle szénhidrogén-alapú hajtóanyagok megújuló forrásból. Interjú közlünk Kozma Gábor szegedi vegyészrel és Timári Géza gyógyszerkémikussal (Chinoin). Bemutatkozik a biatorbágyi Vegyi Gyár Kft. A lap hagyományainak megfelelően olvashatunk a 2023. évi IgNobel-díjakról. Inzelt György megszokott stílusú, elektrokémiai-történeti ihletésű összefoglalása kibén-kibén biztosan földézi fizikai kémiái szigorlatát.

Visszatérve a nyárra elevenítsünk fel néhány, a magyar kémiaoktatással összefüggő eseményt! Július végén került sor Szaúd-Arábiában az 55. Nemzetközi Kémiai Diákolimpiára. Talán nem közismert a diákolimpia szakmai szervezésének magyar bázisa. A 43 tagú tudományos bizottság tagjai közt 13 magyar kémikus tevékenykedett, köztük a bizottság alelnöke, Magyarfalvi Gábor (ELTE). Mind a négy magyar versenyző érmet nyert. (Részletesebb beszámoló közlését az októberi számban tervezzük.)

Nyáron iskolám, a budapesti Fazekas Mihály Gimnázium a Richter Gedeon Nyrt. természettudományos laborfejlesztési pályázatán elnyert összegnek köszönhetően új laborszékeket vásárolhatott, és a laborpultot is fel tudjuk újítani. Sok más iskola is komoly támogatásban részesült. Köszönet érte!

Kevesbé vidám hír, hogy e sorok írásakor, augusztus 2-án a kozigallas.gov.hu oldalon – ez egy hivatalos, állami platform – 91 kémia szakos tanárt keresnek. A pedagógushíány már a fővárosba is begyűrűzött, a 91 álláshirdetésből 17 budapesti iskolát érint. A valós hiány ennél alighanem nagyobb. Úgy hallottam, már a kőbányai általános iskoláknak is egyre nagyobb problémát okoz a kémiaórák biztosítása, pedig nemcsak a fentebb említett Richter működik itt, hanem az Egis és az állati oltóanyagot termelő Ceva-Phylaxia is.

Ahogy a lap júniusi számában olvashattuk, az Oktatási Hivaltól nehéz – lehetetlen – egzakt adatokhoz jutni arról, hogy hány szakos végzettségű és hány képzés nélküli kémiatanár működik ma Magyarországon. Annyi fehéren-feketén kiderült, hogy tavaly, 2023-ban 19 fő jelentkezett első helyen osztatlan kémiatanár szakra. Nagyon remélem, hogy közülük minél több folytatja idén a másodévet, és áll majd annak idején ténylegesen katedrára. Az idei első helyes jelentkezések száma 17. Ez a 17 fő csakhamar egyetemista lesz és belép az ötéves tanárképzésbe. Gondoljunk rájuk is szeptemberben! Sok sikert kívánok a kémia alapszakos és vegyész mérnök hallgatóknak is!

Olvasóinknak pedig jó olvasást!

Keglevich Kristóf,  
az MKL szerkesztőségének tagja

## TARTALOM

## KÖZOKTATÁS – TANÁRI FÓRUM

Szalay Luca, Borbás Réka, Füzesi István, Tóth Zoltán:

Kutatásalapú kémiatanulás az általános iskolákban? 254

## VEGYIPAR ÉS KÉMIATUDOMÁNY

Hancsók Jenő, Hőke Ferenc: Nagy kihívás a légi szállítás dekarbonizációja.

Első rész. A cseppfolyós sugárhajtómű-üzemanyagok jellemzői 261

Az alap- és fejlesztő kutatások együtt járnak a munkánkban.

Beszélgetés Kozma Gábor Innovációs díjas kutatóval 267

Az állandó tanulás kulcsfontosságú.

Beszélgetés Timári Géza tudományos tanácsadóval 270

## IPARI BEMUTAKOZÁS

Helyi Rudolf: A Vegyi Gyár Kft.

271

## KITEKINTÉS

Lente Gábor: IgNobel-díjak a Vízöntő jegyében

273

Inzelt György: Kiről nevezték el? Donnan-egyensúly, Donnan-potenciál,

Donnan-féle megoszlási hányados 274

## VEGYÉSZLELETEK

Lente Gábor rovata

276

## A HÓNAP KÉMIAI PUBLIKÁCIÓJA

278

## A HÓNAP HÍREI

279



Címlapunkon:  
Az új Richter  
Központ  
(tervező: Zoboki  
Építész Iroda)

Szalay Luca<sup>1</sup> – Borbás Réka<sup>2</sup> – Füzesi István<sup>3</sup> – Tóth Zoltán<sup>4</sup><sup>1</sup> ELTE Kémiai Intézet, <sup>2</sup> Szent István Gimnázium, Budapest, <sup>3</sup> ELTE Bolyai János Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, Szombathely, <sup>4</sup> Debreceni Egyetem Kémiai Intézet

| luca.szalay@ttk.elte.hu | rborbas02@gmail.com | fuzesi.istvan@sek.elte.hu | tothzoltandr@gmail.com

# Kutatásalapú kémiatanulás az általános iskolákban?

**A** címben fölített kérdés első látásra teljesen abszurdnak tűnhet a természettudományos kutatásokat ismerő, pláne az ezeken a területeken dolgozó kollégák számára. Hogyan is lehetne ilyesmit végeztetni 13–14 éves, ráadásul a kémia iránt nem is feltétlenül érdeklődő gyerekekkel? Valóban, a mostanra már könyvtárnyi szakirodalommal rendelkező, angolul „*inquiry-based science teaching/learning/education*” kifejezésekkel illetett módszer-csoport nevében nem véletlenül nem a „*research*” kifejezés szerepel, hanem a vizsgálódást, kutakodást, érdeklődést jelentő „*inquiry*”. Magyarul azonban furcsa lenne így hívni, ezért a fordítás során a „kutatásalapú” nevet kapták.

## Az MTA–ELTE Kutatásalapú Kémiatanítás Kutatócsoport céljai és korábbi eredményei

Minden, a diákokkal kísérleteket végeztető kolléga számára ismerős az a helyzet, hogy egy receptszerűen leírt kísérletet lépésről lépésre haladva végre lehet anélkül hajtani, hogy közben a kísérletező áttekintést nyerje a teljes folyamat értelméről, és arról, hogy mit miért kellett pontosan úgy csinálni. Olyankor pedig valójában csak a diákok keze jár, de az esze nem. Kicsit szakszerűbben megfogalmazva úgy szoktuk ezt mondani, hogy az ilyen típusú, receptszerű előírások alapján végzett kísérletezés közben nem feltétlenül fejlődnek a magasabb rendű gondolkodási (kognitív) műveletek, és nem biztosított, hogy a diák megérti a természettudományos megismerés folyamatát. Sőt azt sem szükségképpen látja át, hogy egyáltalán mi az értelme a kísérletezésnek, és hogyan kell ahhoz egy kísérletet szabályosan megtervezni, hogy a minket foglalkoztató kérdésre érvényes választ kapjunk. A természettudományokkal foglalkozók számára egyértelmű, hogy egy kísérletnek megismételhetőnek, az eredményeknek (adott hibahatáron belül) reprodukálhatónak kell lenniük, és hogy csak valid (érvényes, a kutatási kérdés szempontjából releváns) adatokból lehet mérhető következtetéseket levonni. Ez a gondolkodásmód azonban nem magától értetődő, ezért ki kell alakítani a diákokban – akiknek túlnyomó többségéből soha nem is lesz természettudós. Pedig ezekre az alapokra mindenkinek szüksége van; például akkor, amikor a korunkban burjánzó áltudományok világában meg kell ítélnie, hogy egy adott állítással kapcsolatban bemutatott kísérleti bizonyíték használható-e abban a vonatkozásban.

A modern kémia szakmódszertan, és azon belül a kutatásalapú tanulás szakirodalma szerint tehát a tanulói kísérleteknek nem elég egyszerűen csak igazolnia a tanult tudományos elméleteket és törvényeket [1]. Sőt, túl kell mutatniuk a használt anyagok és eszközök esztétikai szépségén, és a kísérletezés során tapasztalt

megismerés öröme is. Az ilyen tapasztalatok érdeklődést felkeltő, motiváló hatása ugyan nem vitatott, de nem feltétlenül vezetnek el egy olyan absztrakciós szintre, amikor a diák megérti, hogyan kell egy kísérletet szabályosan megtervezni: miért fontos az egyszerre csak egy tényezőt változtatunk elve, és hogyan kell a többi tényező állandóan tartásával biztosítani azt, hogy kizárólag az az egy független változó befolyásolja az általunk vizsgált, számunkra fontos függő változó értékét. E cél eléréséhez sokféle út vezethet. Ezért csatlakoztunk immár egy évtizede a kutatásalapú tanulás különféle megvalósítási módszereinek eredményességét világszerte vizsgáló szakemberek népes táborához. Közöttük sokan vannak, akik az ún. „nyílt” kutatásalapú tanulásra („*open inquiry*”) esküsznek, amelynek során egy tanári problémafelvetés nyomán még a „kutatási kérdést” is a tanulók fogalmazzák meg, és az alapján tervezik, majd hajtják végre a kísérletet, illetve vitatják meg a kapott eredmények alapján adható választ. A mi kutatócsoportunk ennek a mai magyar viszonyok (pl. a gyakran előforduló idő-, anyag- eszköz- és laboránshiány) között nem látta realitását. Ezért (a fokozatosság elvét is figyelembe véve) eleve a kutatásalapú tanulás ún. „irányított” szintjét („*guided inquiry*”) céloztuk meg, amelynek során a diákok a tanártól készen kapott „kutatási kérdésre” keresik az adott eszközök és anyagok felhasználásával általuk megtervezett és végrehajtott kísérlettel a választ.

A legelső, rövid (mindössze három, egymást követő kémiaórárt, és az elő-, valamint utóteszteket felölelő) kutatásunkat a 2014/2015-ös tanévben egy, a pedagógusképzés megújítására kiírt TÁMOP projektben [2] végeztük 12 iskolából 15 kémiatanár és 660 általuk tanított kilencedik osztályos (14–15 éves) diák bevonásával. Az eredmények alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy ha a hagyományos reakciókinetikai tanulókísérleteket úgy alakítjuk át, hogy azok egy részét a diákoknak kell megterveznie a végrehajtás előtt, akkor az ilyen tanulók kísérlettervező képessége az általuk írt tesztek eredményeinek statisztikai elemzése alapján jobban fejlődik, mint a kizárólag receptszerűen leírt tanulókísérlet végrehajtó kontrollcsoporté [3]. Ennek fényében érthető, hogy a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgy-pedagógiai Kutatási Programja [4] keretében 2016-ban megalakult és öt tanéven át működő MTA–ELTE Kutatásalapú Kémiatanítás Kutatócsoportunk munkája elsősorban e módszer hosszú távú fejlesztő hatásának vizsgálatát célozta. Ebbe a kutatásba már 18 iskolában 24 kémiatanár által tanított 920 tanulót vontunk be. A diákok ennek a „Megvalósítható kutatásalapú kémiatanítás” című projektnek az elején (2016 szeptemberében) 12–13 éves hetedikesek voltak, és eredeti terveink szerint minden tanévben hat-hat tanulói kísérlet feladatlappal kívántuk befolyásolni a köte-



lező kémia tanításukat. Azonban már a hetedik osztály elején és végén írt tesztek statisztikai elemzéséből kiderült, hogy a fent leírt módszerek a fiatalabb tanulók esetében, és egy teljes tanévet felölelő hosszabb távon a tesztjeink alapján nem volt mérhető szignifikáns pozitív hatása a tanulók kísérlettervezési képességére [5]. Föltételezésünk szerint ez utóbbi mintában szereplő hetedik osztályos tanulók nagy része még nem lépett át a Piaget-féle konkrét műveleti szakaszból a formális gondolkodási műveletek szakaszába [6]. Ráadásul már pusztán a kísérletek végrehajtása is nagy munkamemória-kapacitást igényel ebben az életkorban [7], így könnyen felléphetett kognitív túlterhelés is. Ezért, és a szükséges absztrakt gondolkodás hiányában a diákok valószínűleg nem értették meg, hogy mi a közös a tanév során elvégzett hat különböző kísérlettervezési feladatban. Így persze a hetedik osztályban a tanév végén írt teszt kísérlettervező feladatainak sem mutattak fejlődést a kizárólag receptszerű kísérleteket végző kontrollcsoporthoz képest.

E keserű tapasztalat miatt a következő tanévtől a kísérleti csoportoknak mind a hat tanulói feladatlapon tanítottuk a kísérlettervezést. A diákok egyik részének a receptszerűen elvégzett kísérletek után magyaráztuk el a legfontosabb elveket. A másik kísérleti csoportot viszont a kísérlettervezés vonatkozó elvei (pl. az egyszerre csak egy tényezőt változtatunk) segítették a hat kísérlet megtervezésében, mielőtt elvégezték volna azokat. A tanév végi teszt eredményeinek elemzése alapján a nyolcadik osztályban már így tanított mindkét kísérleti csoport kísérlettervezési képessége jobban fejlődött a kontrollcsoporténál. Ezt örömmel nyugtáztuk, és így ezekkel a módszerekkel folytattuk a diákokkal a munkát a kilencedik osztály további hat tanulókísérlete során. Ekkor azonban újabb csalódás ért minket, mert várakozásunkkal ellentétben a fejlesztés előző tanévben tapasztalt pozitív hatása csökkent, sőt a tesztekkel már nem is volt kimutatható szignifikáns különbség a kísérleti csoportok és a kontrollcsoport kísérlettervezési képessége között. Az egyik lehetséges magyarázat szerint a kísérlettervezési képesség fejlődése az absztrakt gondolkodás kialakulása nyomán sok tanuló esetében spontán bekövetkezett a kontrollcsoportban is [8]. Másrészt az okok keresésekor a diákokkal dolgozó tanár kollégák közül többen is úgy nyilatkoztak, hogy kilencedik osztályra sok diák esetében eldőlt a továbbtanulás iránya. Ha nyilvánvalóvá válik, hogy a felsőoktatásba való bejutáshoz nem lesz szükség bizonyos tantárgyakra, akkor azoknak a tanulásába átlagosan kevesebb munkát fektetnek a diákok. Elképzelhető, hogy a kémia iránti motiváció gyakran tapasztalt csökkenésének is ez az egyik oka. A másik persze lehet a még mindig meglehetősen (és részben indokoltan) elvont kémia tananyag, amivel sok diáknak nincs kedve megküzdeni, mert nem látják az értelmét és hosszabb távú hasznát. A fejlődés mérését pedig nehezíti, hogy a tesztek feladatainak megoldására kutatómódszertani okokból semmilyen érdemjegyet nem kaphatnak a diákok. (Ugyanis nem lenne biztosítható, hogy az így született kémiajegyek azonos súllyal essenek latba az év végi érdemjegy megállapításakor, és így azonos mértékű külső motivációt jelentsenek.) Ennek felismerése nyomán pedig valószínűsíthető, hogy sok kamaszodó diák kilencedik osztályban már nem fektetett komoly munkát a tesztek feladatainak megoldásába, és így nem nyújtotta tudása legjavát. (Ez több esetben ki is derül a papíron megoldott tesztekre a tanulók által írt vicces megjegyzésekből, illetve az ott készített rajzocskákból.) Ez a motivációs tényező pedig nyilvánvalóan befolyásolja a tesztek eredményeit, amelyet nem feltétlenül kompenzál a nagy mintaszám sem.

Ezek a diákok tizedikesek voltak, amikor 2020 márciusában el-

kezdődött a Covid-19 járvány, és emiatt bezártak az iskolák. Ott-honi körülmények között viszont a csoportos tanulókísérletek nem voltak elvégezhetőek, ezért a projektünk végrehajtását fől kellett függeszteni. Mikor pedig a diákok tizenegyedik korukban visszatérhettek a jelenléti oktatásba, sajnos már nem voltak kötelező kémiaóráik. Így nem minden kémia tanár kolléga tudta megoldani, hogy más tanórákon vagy tanórán kívüli foglalkozásokon elvégezzék az előző tanévre tervezett maradék kísérleteket. Emiatt az értékeléshez szükséges tesztet megíró diákok száma kb. a kiindulási mintaszám felére csökkent. Ezen előzmények után nem volt meglepő, hogy az utolsó teszt eredményei sem mutattak pozitív hatást a kísérleti csoportokban a kísérlettervezés fejlődésének tekintetében.

Mindemellett a nyolcadikos teszt pontszámai alapján azt a végkövetkeztetést vontuk le abból a longitudinális vizsgálatból, hogy a kísérlettervezés tanítható, csak meg kell hozzá találni a megfelelő módszereket. Ez összhangban van Baird véleményével is, aki már 1990-ben leírta, hogy a céltudatos kutatásalapú tanulás nem spontán módon történik – azt meg kell tanulni [9]. Úgy gondoltuk tehát, hogy érdemes ennek a módszernek a fejlesztésébe további munkát fektetni, csak az ilyen korú diákoknak több támogatásra és motivációra van szükségük a jobb eredmények eléréséhez. E projektről nagyon részletes tanulmány jelent meg 2021-ben a kutatócsoport tagjainak a tollából a Magyar Kémikusok Lapjában [10]. Az MTA-ELTE Kutatásalapú Kémia tanítás Kutatócsoport „Megvalósítható kutatásalapú kémia tanítás” projektje során készült és a kipróbálás eredményei alapján javított összes oktatási segédanyag (a három változatban készült 24 tanulói feladatlap és tanári útmutató, valamint a tesztek is) pedig szerkeszthető formában letölthető a projekt weboldaláról [11].

### A „Kutatásalapú kémia tanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” című projekt első két évében végzett munka

A fentebb leírt előzmények után 2021-ben újra pályáztunk, de akkor már a Magyar Tudományos Akadémia Közoktatás-fejlesztési Kutatási Programjának [12] keretében, azért, hogy folytathassuk a megkezdett munkát. Kutatócsoportunk ismét elnyerte az MTA támogatását négy tanévre, a „Kutatásalapú kémia tanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” című projektünk számára. Ennek során megőriztük a korábbi projektben is szereplő háromféle csoport szerepét, de két fontos újítást is bevezettünk:

1. A kísérlettervezési képességek fejlesztéséhez még részletesebb támogatást nyújtunk a kísérleti csoportok számára. Ehhez az ő feladatlapjaikon a Cothron és szerzőtársai által leírt kísérlettervezési diagram [13] rövidített és egyszerűsített változatát alkalmazzuk, egy olyan általános séma formájában, ami „az egyszerre csak egy tényezőt változtatunk” elvre épül. Ez a séma mindig egy adott sorrendben kéri a tanulóktól a független és a függő változókat, valamint az állandók azonosítását. Az egyik kísérleti csoport ezt a sémát a kontrollcsoport által is elvégzett receptszerű kísérletek végrehajtása után tölti ki. A másik kísérleti csoport esetében viszont a séma kérdéseinek megválaszolása segíti a tanulókat a kísérlet megtervezésében, vagyis a kísérlet elvégzendő lépéseinek és azok helyes sorrendjének azonosításában.
2. A tanulók motivációjának fenntartása érdekében pedig minden feladatlap tartalmaz a kísérletek elvégzése után egy kontextusalapú feladatot a „Gondolkodjunk!” címszó alatt, amely a háromféle csoport számára készült feladatlap-típu-



sok esetben azonos. Ennek célja az érdeklődés fenntartásán túl a rendszerszemléletű gondolkodás képességének fejlesztése. Az ilyen feladatok ugyanis segíthetnek a tanulóknak megérteni, hogy hogyan teszi a kémia könnyebbé az életünket [14; 15], valamint egészségesebbé, biztonságosabbá és fenntarthatóvá a környezetünket [16; 17].

A jelen projektben is tanévenként hat feladatlap készül; mindegyik három változatban a fejlesztésben részt vevő osztályok háromféle csoportja számára. Az 1. csoportban (a kontrollcsoportban) lévő osztályok tanulói ismét kizárólag receptszerűen leírt kísérleteket végeznek. A 2. csoportba (ami az egyik kísérleti csoport) került osztályok diákjai ugyanazokat a receptszerű kísérleteket végzik el, mint az 1. csoport, de utána a fent említett séma kísérletek tervezésével kapcsolatos kérdéseire is válaszolniuk kell, amit aztán megbeszélnek a tanáraikkal. A 3. csoportba (ami a másik kísérleti csoport) beosztott osztályok tanulóinak feladatlapjai nem tartalmazzák a kísérletek receptszerű leírását. Ehelyett ezen osztályok diákjainak a séma kérdéseit sorra megválaszolva, saját maguknak kell megtervezniük a kísérleteket. A kísérletek elvégzése előtt megbeszéljük az elkészült kísérleti tervet a tanáraikkal. Az osztályokon belül a kísérleteket a tanulók mindig csapatmunkában végzik, mert a diákok között folyó egyeztetések és viták is fejlesztő hatásúak lehetnek. Okulva a Covid-19 járvány okozta problémákból, ebben a projektben a háromféle csoport számára írt feladatlapoknak és tanári útmutatóknak az otthon elvégezhető kísérleteket tartalmazó változatait is elkészítjük.

A projekt kezdetekor (2021 őszén) 931 hetedik osztályos tanuló töltötte ki az úgynevezett 0. tesztet. Ennek kiértékelése után osztottuk be a 25 iskolában dolgozó 31 kémiatanár által tanított 38 osztályt, ill. tanulócsoporthoz a fent jellemzett háromféle csoportba úgy, hogy a csoportok 0. teszten elért eredményeinek átlagai között ne legyen statisztikai értelemben szignifikáns különbség (vagyis a csoportok az általunk mért előzetes tudás tekintetében ne különbözzenek egymástól). Az első tanév végén (2022. május-június) a hetedik osztályosok számára készített hat feladatlapunk kitöltése és az azokon szereplő tanulókísérletek előírásoknak megfelelő elvégzése után közülük 890 diák oldotta meg az 1. tesztet is. A második tanév végén (2023. április-május) pedig az akkori hat feladatlap és tanulókísérlet után az addigra a mintában maradó 756 nyolcadikos tanuló töltötte ki a 2. tesztet. A tanárok választották ki, hogy az adott tanéven belül mikor került sor azokra a kémiaórákra, amelyeken a tanulói feladatlapokat a diákok megoldották, valamint a hozzájuk tartozó tanulókísérleteket elvégezték, illetve a soron következő tesztet kitöltötték. Sajnos a mintában szereplő tanulói létszám a 2022/2023. tanévben meredeken csökkent, mert a kémiatanárok esetében korábban soha nem tapasztalt mértékű fluktuáció a mi kutatócsoportunkat se hagyta érintetlenül. Így egész osztályokat veszítettünk el azért, mert a kémiatanáruk már nem tanította őket tovább, és azok, akik átvették a kémiaórákat, már nem vállalták a projektben való részvételt.

A fő kérdés számunkra a 3. csoport fejlesztésének eredményességét vizsgálva továbbra is az, hogy a tanulók által megtervezett és elvégzett kísérletek segítik-e a tanulókat hosszú távon abban, hogy egy további probléma esetében is korrekt módon meg tudjanak tervezni és el tudjanak végezni egy természettudományos vizsgálatot. Azonban mivel egyes tanulmányokból származó bizonyítékok arra utalnak, hogy a kutatóalapú tanulás során a tanár által vezetett kísérletek nagyobb hatással vannak a diákok tanulására, mint a diák által vezetett vizsgálatok, le-

hetségesnek tartottuk azt is, hogy a kísérlettervezés tanítására a 2. csoport esetében alkalmazott módszer mutatkozik majd hosszabb távon eredményesebbnek. A projekt első két évében tehát konkrétan a következő kutatási kérdésekre kerestük a válaszokat a tesztek eredményeinek elemzésekor:

1. Eredményez-e a fejlesztés szignifikáns változást a diákok kísérlettervezési képességeiben bármelyik kísérleti csoportban a kontrollcsoport eredményeihez viszonyítva?
2. A kísérleti csoportok tanulói a beavatkozás hatására szignifikánsan más eredményt érnek-e el a tesztek tárgyi tudást mérő feladatainak megoldásakor, mint a kontrollcsoport tanulói?
3. Van-e különbség a kísérlettervezési képességekben a két kísérleti csoport tanulói között?

Az MTA–ELTE Kutatóalapú Kémiatanítás Kutatócsoport „Kutatóalapú kémiatanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” projekt első két tanéve során készült, és a kipróbálás eredményei alapján javított összes oktatási segédanyag (a három változatban készült 12 tanulói feladatlap és tanári útmutató jelenléti, illetve otthoni munkára szánt változatai, valamint a tesztek is) szerkeszthető formában letölthetők a projekt weboldaláról [18]. Ezért e helyen csak (tájékoztató, és mintegy kedvcsinálóként) az egyes feladatlapok sorszámaikat, témáikat, továbbá a 3. csoport kísérlettervező feladatának lényegét, valamint a minden csoport feladatlapján („Gondolkodjunk!” címszó alatt) szereplő rendszerszemléletű feladat témáját mutatjuk be (**1. táblázat**). A feladatlapok készítése során a következő elveket vettük figyelembe:

1. Amennyire lehet, építettünk a korábbi projektben (2016–2020 között) általunk írt feladatlapok tapasztalataira.
2. Csak olyan témákra készítettünk feladatlapokat, amelyek beilleszthetők a jelenleg érvényes Nemzeti alaptanterv [19] és a kémia kerettantervek [20] által előírt kémia tananyagba.
3. A feladatlapoknak akkor is használhatóknak kell lenniük, ha az adott iskolában a 7. osztályban már mindössze csak heti egy kémiaóra van.
4. A cím és a bevezető legyen motiváló (ami kedvet csinál a feladatlaphoz).
5. A kísérlettervező feladatok legyenek nagyon egyszerűek, és a mintául vett séma kitöltését gyakoroltassák.
6. A rendszerszemléletű gondolkodást gyakoroltató feladatok is egyszerűen felismerhető ok-okozati összefüggésekre építsenek, és az ilyen korú diákok számára is jelentőséggel bíró folyamatok befolyásolási, szabályozási lehetőségeire mutassanak rá.
7. A feladatlapok kísérletei legyenek otthon is végrehajthatók.



A „Kutatóalapú kémiatanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” projekt 7. feladatlapjának kipróbálása

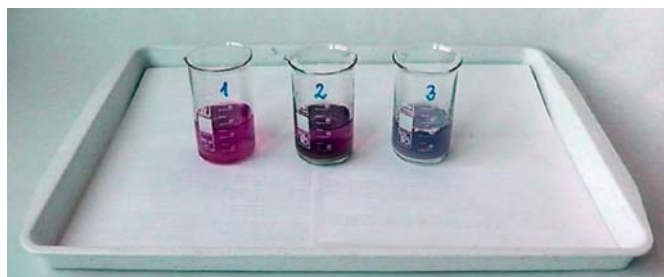


1. táblázat. A 12 feladatlap címe, témája, valamint a kísérlettervező és a rendszerszemléletű feladatok lényege

Sor-szám	Cím	Téma	Kísérlettervező feladat	Rendszerszemléletű feladat
1.	„Ami igazán lényeges, az a szemnek láthatatlan.”	Az anyag részecsketermészete, a részecskék mozgásának hőmérsékletfüggése, és ennek befolyása a folyamatok lejátszódásának sebességére	Hogyan függ a vízbe tett színes cukorkák mázából kioldódó részecskék mozgásának gyorsasága a hőmérséklettől?	Milyen hőmérsékletű helyen érdemes tárolni a partikon vagy katasztrófák idején használható világító rudakat közvetlenül a felhasználás előtt ahhoz, hogy sokáig világítsanak?
2.	„Süssünk, süssünk valamit...”	Az anyagok fizikai és kémiai tulajdonságai, fizikai és kémiai változások	A sütőpor három összetevője közül melyik nem szükséges az új minőségű anyag, a szén-dioxid-gáz fejlődéséhez?	Ésszerű-e követni azt az interneten olvasható tanácsot, hogy a sütőport érdemes használat előtt egy evőkanál citromlével kipezsgetni?
3.	„A fuldokló kacsa”	Az anyagok oldékonysága	Kacsa alakúra kivágott papírdarabokkal kell modellezni a vízimadarak tollán lévő zsírréteg szerepét, és a mosogatószerrel szennyezett víz hatását a vízimadarak életére.	Ha a szappan kettős oldékonyságú részecskéi szét tudják zilálni a Covid-19 vírus burkát, és erre az etil-alkoholos fertőtlenítő is képes, akkor milyen oldékonyságúak az etil-alkohol részecskéi?
4.	„Induljon a pezsgés!”	Az oldatok összetétele, adott tömegszázalékos oldat elkészítése	A Hyperol tablettából készített különböző töménységű oldatok bontásakor keletkező oxigéngáz által felfújott mosószerhabok magasságának összehasonlítása.	Áltudományos honlapok mindenféle betegség gyógyítására javasolják a hidrogén-peroxid-oldat megivását, de célszerű-e ezt belsőleg (szájon át lenyelve) használni?
5.	„Úgy szeretlek, mint az emberek a... sót.”	Keverékek szétválasztása	Hogyan lehet eldönteni három, azonos tömegű só-homok keverékről, hogy melyikben van a legtöbb só?	A konyhasó, illetve a túl tömény vagy túl híg infúzió élettani hatásai.
6.	„Megrakják a tüzet, mégis elaluszik...”	Az égés, a gyors égés és az égés feltételei	Hogyan lehet bizonyítani, hogy az égéshez tényleg mindhárom feltétel szükséges?	Milyen összefüggés van az erdőtüzek gyakorisága és a globális felmelegedés között?
7.	Az alkímisták nyomában	A fémek redukálóképessége	Milyen reakciók segítségével határozható meg a vas helye a reakcióképességi sorban?	Elméletben készülhetne-e a horganyzott bádoggal és a fehérbádoggal úgy, hogy a vaslemezt cinkionokat, illetve ón(II)ionokat tartalmazó oldatba merítik?
8.	Kemény vizek lágyítása	Vízkeménység, vízlágyítás triszóval ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) és mosósózával ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	Megadott ionokból származtatható sók oldhatósági adatai alapján mely vegyületek alkalmasak vízlágyításra?	Igaz-e az az interneten olvasható információ, hogy a szódabikarbóna jó vízlágyítószer? A vízkő, a cseppkő és a mészkő keletkezését, illetve reagálását leíró kémiai folyamatok összefüggései.
9.	Égés-e a mészégetés?	Mészégetés, mészsoltás építőanyagok	Mészkő ( $\text{CaCO}_3$ ) és más ( $\text{SiO}_2$ ) anyagú kőzet megkülönböztetése a mészégetés és a mészsoltás folyamatának modellezésével	A mészégetés – mészsoltás az oltott mészsó megkötése körfolyamat kémiai reakciói közötti összefüggések és szabályozásuk azonosítása
10.	Bántja-e a savas eső a kagylókat és a korallzátonyokat?	A savas eső (sav) reakciója mészkővel (kalcium-karbonáttal)	Befolyásolja-e a tómeder anyaga [homok ( $\text{SiO}_2$ ) vagy mészkő ( $\text{CaCO}_3$ )] azt, hogy a savas eső milyen mértékben változtatja meg a tó vizének a pH-ját?	Hogyan hat a savas eső a természetes vizekben élő meszes vázú állatok (pl. kagylók, csigák, korallak) életkörülményeire és hogyan befolyásolhatjuk ezt a folyamatot?
11.	Készíthető-e a dobostorta teteje nyírfacukorból?	Cukrok és édesítőszer	Igaz-e az az interneten talált receptben olvasható állítás, hogy a tetején karamellt tartalmazó dobostorta elkészítéséhez nyírfacukrot használtak?	Az élő szervezetnek a vércukorszint tekintetében is érzékeny és gyorsan reagáló egyensúlyt kell fenntartania. Hogyan befolyásolja ezt az inzulin, illetve a stressz?
12.	Szuperhősből szuperponosz? – Hulladék-hegyek keletkezése hasznos műanyagokból	Műanyagok	Desztillált vízből vagy vizeletből/vérből képesek-e a pelenkákban, illetve intim betétekben található szupernedvszívó műanyagok nagyobb mennyiséget megkötni?	Az előállításukkor, illetve használatukkor felhasznált víz mennyiségének becslése alapján tényleg környezetkímélőbb-e a mosható „mosipelus” használata a papírpelenkánál?



A feladatlapok tanárok számára írt módszertani részében a kísérletek megvalósítását a tanulók számára előkészített tálcák fényképei segítették, és a feladatlapok otthoni változataiban is szerepeltek a szükséges eszközökről és anyagokról készült fényképek (1. ábra). Továbbá beillesztettünk a tanári módszertani részbe a kísérletek eredményeit mutató fényképeket is (2. ábra). A kísérletező diákokról készült fényképek pedig az ELTE TTK Természettudományos Oktatásmódszertani Centrum honlapjának galériáiban láthatók [21] (3. ábra, és a többi illusztrációul szolgáló kép). Ezek közzétételére még a projekt legelején kértünk szülői engedélyeket, a diákok projektben való részvételének engedélyezésével együtt.



2. ábra. A 10. feladatlap kísérletéhez előkészített tálcá (felső képen) és annak elvégzése után látható tapasztalatok (alsó képen)



1. ábra. A tanulócsoporthoz számára a 11. feladatlaphoz előkészített kísérleti eszközök és anyagok tálcája (felső képen) és a 3. feladatlap kísérletének otthoni elvégzéséhez szükséges eszközök és anyagok (alsó képen)

A fejlődés mérésére használt tesztek szerkezete, és két osztállyal való kipróbálásuk folyamata azonos volt a korábbi projektben alkalmazott tesztekével. Mindegyik más-más feladatok tartalmazott, amelyek az éppen előtte tanultakra épültek. Ennek oka egyrészt az volt, hogy elkerüljük a feladatok ismétlődéséből adódó validitási problémát, hiszen például egyes diákok megbeszélhették volna a két teszt megoldása közötti időben a helyes válaszokat, más diákok pedig bizonyára nem foglalkoztak volna ezzel. Másrészt a kutatás célja olyan kísérlettervezési képességek fejlesztése, amelyek az adott feladatok kontextusától nagyon eltérő körülményekre vonatkozóan is alkalmazhatók. Ezért azt szeretnénk volna megvizsgálni, hogy sikeresen megtörtént-e ez az ún. távoli tudástranszfer. A keretes szöveg a következő oldal tetején a nyolcadik osztály végén megírt 2. teszt kísérlettervező képességet mérő feladatát mutatja be.



3. ábra. 7. osztályos tanulók végzik a 4. feladatlap kísérleteit (felső képen) és e kísérletek eredményeit figyelik egy másik osztály diákjai (alsó képen)

Mindegyik teszten összesen 18 pontot lehetett szerezni. A tárgyi tudást mérő feladatok továbbra is kizárólag a feladatlapjaink kapcsán megszerezhető ismeretekre épültek. Ezekre kilenc pontot kaphattak a tanulók, ami a Bloom-taxonómia [22] szerint így oszlott meg: maximum három pontot adtunk az ismeretek helyes visszaidézésére, három pontot az összefüggések értésére és három pontot a tanult törvények és szabályok megfelelő módon való





Képzeld el, hogy egy kis faluban élő rokonoknál nyaralsz, és feltöltöttetek vízzel egy fürdőmedencét az udvaron. **A vizet olyan tablettával kell fertőtleníteni, ami a pH = 7–8 tartományban tudja kifejteni a hatását, de a helyi víz pH-ja nagyobb 8-nál.** Van vegyszeretek, amiből olyan mennyiséget kell adagolni a medencébe, hogy a fürdővíz elérje a kívánt pH-tartományt. A víz pH-jának ellenőrzésére szolgáló tesztcscsik azonban elfogyott, és csak egy távoli városban kapható. Eszedbe jut, hogy a vöröskáposztalé sav-bázis indikátorként működhet, és azt tudtok készíteni az otthon lévő káposztából. Az interneten olvasható, hogy a vöröskáposztalé pH  $\geq 12$  esetén sárga színű, és a pH = 9–11 körüli tartományban zöld és zöldeskék, pH = 7–8 között kék, pH = 4–7 között lila, végül a pH  $\leq 3$  tartományban vörös. **Így be tudjátok állítani a medence vizének pH-ját olyanra, hogy hasson a fertőtlenítő tablettára.** A káposztalevet nem önthetitek a medencébe, de poharakkal ki tudtok méríteni a medencéből vízmintát, akár többször is. Van egy lapát is, amellyel össze tudjátok keverni a medence vizét. **Az alábbi válaszaidal segíts megtervezni a megfelelő pH-tartomány eléréséhez vezető kísérleteket!**

a) Mi az, amit ti változtathattok a medence **teljes tartalmával** kapcsolatban a kísérletek során? (Vagyis mit kell adagolni a medence teljes tartalmához minden egyes kísérletben?)

b) A medencevíz mely tulajdonsága függ az átlalatok okozott változástól?

c) Mivel tudjátok vizsgálni a medenceviznek ezt, a fenti b) pontban megnevezett tulajdonságát?

d) Milyen tapasztalatból következtethettek arra, hogy még további anyag hozzáadására van szükség?

e) Miért fontos minden esetben gondosan összekeverni a medence vizét?

f) Miből következtethettek arra, hogy már bele lehet tenni a fertőtlenítő tablettát a medencevízbe?

g) Írj + jelet az alábbi listában lévő állítás elé, ha azt **igaznak tartod**, és – jelet, ha **nem tartod igaznak!** (Egyértelmű áthúzás után másik jelet is írhat, ha meggondoltad magad.)

Mindig a medence azonos pontjáról kell kimeríteni a vizet a pohárral.

Mindig azonos térfogatú vizet kell kimeríteni a medencéből a pohárral.

Mindig azonos pohárral kell kimeríteni a medencéből a vizet.

alkalmazására. További maximum kilenc pont volt szerezhető a tesztek kísérlettervező feladatainak helyes megoldásával. A kísérletek elvégzéséből eredő tárgyi tudásra, valamint a tesztek végén a kémiával és a kísérletekkel kapcsolatos attitűdökre vonatkozó kérdéseket itt nem ismertetjük, de aki kíváncsi rájuk, elolvashatja őket a projekt weboldaláról letölthető fájlokban [18].

### A „Kutatásalapú kémiatanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” című projekt első két évének eredményei és a további tervek

A tesztek eredményeinek összegyűjtése és felüljavítása is a korábbi projektben alkalmazott folyamattal azonos módon történt. Első lépésben a tanárok a tőlünk kapott javítási útmutató alapján kódolva értékelték a tanulók válaszait, majd elküldték a kutatócsoport vezetőjének a részletes statisztikai feldolgozásra. Az összes kitöltött teszt átnézése után elkészült a kiegészített, illetve módosított megoldókulcs, ami alapján az összes teszt egységes szempontok szerinti felüljavítása történt. A mintaszám minden teszt esetében egyre kisebb lett, mert ha egy tanuló nem írt meg egy tesztet, akkor tovább már nem számítottak bele az eredményei a mintába. A statisztikai elemzés során mindig számításba vettük a mintaszám csökkenését is. Az erre alkalmazott módszerek és az eredmények részletes ismertetését a hetedik teszt esetében már publikáltuk [23]. A nyolcadik osztályos tesztek eredményeiről szóló kéziratunkat pedig már elfogadták közlésre [24]. Két magyar nyelvű, közlésre már elfogadott publikációnk pedig e tárgyban két különböző tanulmánykötetben fog hamarosan megjelenni. Emiatt itt csak az eredmények rövid összefoglalására szorítkozunk, a fentebb megfogalmazott kutatási kérdésekre az alábbiakban adott válaszokkal.

A tesztek statisztikai elemzése alapján a beavatkozás szignifikáns pozitív változást eredményezett a 3. csoport tanulójának kísérlettervezési képességeiben a kontrollcsoport (1. csoport) tanulóiéhoz képest, mind az első tanév (7. osztály) adatai alapján,

mind az első és a második tanév (7-8. osztály) kumulált adatait tekintve. Feltételezhető, hogy ez annak volt köszönhető, hogy a 3. csoport tanulójának feladatlapjai egy kísérlettervezést támogató kérdésekből álló sémát tartalmaztak. Bár a 2. csoport tanulójának a kísérlettervező feladatokon elért teljesítményében a második tanév végére bekövetkezett változás szintén pozitív volt a kontrollcsoportéhoz képest, az a javulás nem bizonyult statisztikai értelemben szignifikánsnak.

A jelen projekt első tanévében a 2. csoport a tárgyi tudás szempontjából a másik két csoporthoz képest gyengébben teljesített. Azonban a második tanév végére olyan sokat javultak az eredményeik, hogy akkorra a három csoport között nem volt mérhető szignifikáns különbség a tárgyi tudás változásában. Ezek az eredmények összhangban vannak Bredderman (1983) adataival, aki arról számolt be, hogy a kutatásalapú módszerek alkalmazása nagyobb hatással volt a természettudományos kutatási folyamatra, mint a természettudományos tartalomról szerzett tudásra.

A projekt első két tanéve alatt a két kísérleti csoport átlagpontszámainak változásai alapján nem találtunk statisztikailag szignifikáns különbséget a kísérlettervezési képességeik fejlődésében. Meg kell azonban jegyezni, hogy az első évben a 3. csoport tanulójának teljesítményében bekövetkezett változás a kísérlettervező feladatok tekintetében szignifikánsan jobb volt, mint a 2. csoport tanulójának teljesítményében bekövetkezett változás. A második évben azonban ez a tendencia megfordult, és a 2. csoport jobban javult, mint a 3. csoport. Ezt a különbséget a két kísérleti csoport eltérő fejlesztése is okozhatta. A 2. csoport diákjainak nem kellett kísérleteket tervezniük, csak a séma kitöltésekor meg kellett beszélniük a tanárukkal, hogy a kísérleteket miért úgy kellett elvégezni, ahogy a recept leírta. Ez egy „elméleti” módszernek tekinthető a kísérlettervezés elsajátításához, amely esetében hosszabb időbe telhet, amíg a tanulók rájönnek, hogyan kell alkalmazni a szerzett tudást a gyakorlatban, ami a második év végére megtörténhetett. A 3. csoport diákjainak vi-



### A „Kutatásalapú kémia tanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” projekt 11. feladatlapjának kipróbálása

szont csapatmunkában kísérleteket kellett tervezniük, miközben a kísérlettervezés elsajátítását segítő séma kérdéseire válaszoltak. Ez a kísérlettervezési képességek fejlesztése közvetlen, „gyakorlati” módszerének tekinthető. Ez lehet az oka annak, hogy a 3. csoport esetében a beavatkozás már az első tanévben hatott, és a két éves időszak végén is úgy tűnik, hogy szignifikáns pozitív hatása volt a kísérlettervezési képesség fejlődésére. Lehetséges az is, hogy a 2. csoport az első tanévben a kísérletek elvégzése után már kevésbé találta érdekes feladatnak a kísérlettervező séma kitöltését, mint a 3. csoport, akik számára a séma kitöltése tényleges segítséget nyújthatott, de a második tanévben a 2. csoportot is sikerült meggyőzni a séma kitöltésének hasznáról.

Olyan elemzéseket is végeztünk, amelyek nem csak az előzetes tudás, hanem bizonyos háttérváltozók hatását is vizsgálták a tanulók tárgyi tudásának és kísérlettervező képességének alakulására. Ezen paraméterek közül a legfontosabbnak ebben a projektben is a tanulók iskolájának erőssége számított (a legjobbiskola.hu honlapon közzétett rangsor alapján képzett kategóriaválasztó szerint), mivel az mindkét tanévben jelentős hatással volt a kísérlettervezési képességet mérő pontszámokra, és ez a hatás a második tanévben nagyobb volt a mi fejlesztési módszereink hatásánál. Ez is visszaigazolja a PISA mérések által is újra és újra megerősített tényt, miszerint a magyar iskolarendszer rendkívül szelektív [25]. A tanulók szocioökonómiai helyzetét az anya iskolai végzettségével jellemeztük, de az csak gyengén befolyásolta az eredményeket. Ennek magyarázata az lehet, hogy a mintában szereplő diákok olyan hat-, nyolc- vagy tizenkét évfolyamos gimnáziumokba járnak, ahová eleve csak egy erősen szelektáló felvételi eljárás alapján lehet bekerülni. Ezekben az iskolákban pedig az édesanyák vagy a gondviselők túlnyomó többsége felsőfokú végzettséggel rendelkezik, ami sajnos igazolja a társadalmi mobilitás közismerten alacsony szintjét. Nyilvánvalóan más eredményt kaptunk volna, ha a mintánk az egész ország összes iskoláját tekintve reprezentatív, de akkor nem tudtuk volna biztosítani, hogy a diákok túlnyomó többsége a projekt teljes négy tanéve alatt ugyanabban az oktatási intézményben tanulja a kémiát. Érdekes, hogy a diákok neme sem befolyásolta különösebben az eredményeket.

A kémia tantárggyal és a kísérletekkel kapcsolatos attitűdkérdésekre kapott válaszok elemzése azt mutatta, hogy ezeket ennek a projektnek az első két tanévben sem sikerült jelentősen befolyásolni. Ennek fő okát abban látjuk, hogy a kémia tantárgyhoz való viszonyt mindenekelőtt a nehéz, és a gyakorló ta-

nárok véleménye szerint a rendelkezésre álló időhöz képest még mindig sok kötelező tananyag határozza meg, amelyek elsajátítására a diákok érdemjegyet is kapnak.

A projekt második tanévében a kutatásban részt vevő tanárok és a feladatlapokkal megismerkedő kémia tanár szakos hallgatók egy-egy online kérdőívet töltöttek ki az első tanév feladatlapjairól [26, 27]. A válaszok alapján mind a hallgatók, mind a tanárok pozitívan értékelték a kísérletek könnyű elvégezhetőségét. A hallgatók hangsúlyozták, hogy a feladatlapok a mindennapi élet problémáit dolgozzák fel, és a kísérletek hétköznapi eszközökkel és anyagokkal is végrehajthatók. A tanárok kiemelték, hogy a feladatlapok illeszkednek az életkori sajátosságokhoz és megfelelnek a tantervi követelményeknek. A válaszok elemzésének legszembetűnőbb eredménye az volt, hogy választási lehetőség esetén a hallgatók többsége ragaszkodna a 2. csoport számára készült (így receptszerű kísérletleírásokat is tartalmazó) feladatlapok alkalmazásához, míg a gyakorló tanárok közül többen bátran használnák a 3. csoport feladatlapjait, amelyek valódi kísérlettervezést is elvárnak a tanulóktól.

A jelenleg rendelkezésünkre álló eredmények tehát azt mutatják, hogy a kutatásalapú kémia tanítás általunk használt formája már az általános iskolában is eredményesen megvalósítható. Ezen azt értjük, hogy valószínűleg hasznos a diákok által végzett olyan kémiai kísérletek megterveztetése a tanulókkal, amelyhez elegendő előzetes tudással rendelkeznek. Ennek során pedig érdemes a kísérletek tervezését egy olyan sémára alapozni, amely segíti őket ebben a folyamatban. Ugyanis az előző longitudinális vizsgálat első évében, amikor azokat a hetedikeseket is kísérletek tervezésre kértük, de nem alkalmaztunk semmilyen támogatást, a kísérlettervezési képességek fejlődése a tesztek alapján nem volt kimutatható [5]. Ezért a munkát a továbbiakban is a jelen projekt első két évében alkalmazott módszerekkel folytatjuk. Tehát a harmadik tanévben is kipróbálták a kutatócsoportban mintát képző diákokkal dolgozó tanárok az általunk készített feladatlapot a hetedik osztály elején háromféle csoportba osztott osztályokkal, és utána megírták velük a tanév végi tesztet. Az idei nyár folyamán ezek eredményeit a szokásos módon értékeljük, majd publikáljuk; továbbá elkészítjük a negyedik (a projektben utolsó) tanév feladatlapját is. Érthető módon nagy várakozással tekintünk a 2025 nyarára várható végső eredmények megismerésére elé. ●●●

*A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Közoktatásfejlesztési Kutatási Programja támogatta. Hálásak vagyunk az MTA vezetésének és a Közoktatási elnöki Bizottságnak, hogy megteremtették a lehetőséget a kutatás elvégzésére. Köszönjük a kutatócsoportban dolgozó kémia tanároknak és diákjaik, valamint az egyetemi oktató kollégáink munkáját.*

#### IRODALOM

- [1] H. Xu, V. Talanquer, Effect of the level of inquiry of lab experiments on general chemistry students' written reflections. *J. Chem. Educ.* (2013) 90(1), 21–28.
- [2] TÁMOP 4.1.2.B.2-13/1-2013-0007 „Országos koordinációval a pedagógusképzés megújításáért” projekt
- [3] L. Szalay, Z. Tóth, An inquiry-based approach of traditional 'step-by-step' experiments. *Chem. Educ. Res. Pract.* (2016) 17, 923–961.
- [4] Magyar Tudományos Akadémia, Tantárgy-pedagógiai Kutatási Program, <https://mta.hu/tantargy-pedagogiai-kutatasi-program>
- [5] L. Szalay, Z. Tóth, E. Kiss: Introducing students to experimental design skills. *Chem. Educ. Res. Pract.* (2020) 21, 331–356.
- [6] Cole, M. & Cole S. R., Fejlődéslélektan. Osiris Kiadó, Budapest, 2006, 481–505; 642–656. [A Cole M. & Cole S. R., *The Development of Children*, 4th edition, New York, Worth Publishers, 2001 magyar fordítása.]
- [7] N. Reid, A. Amanat Ali, Making Sense of Learning. Springer Nature Switzerland, AG, 2020



- [8] L. Szalay, Z. Tóth, R. Borbás: Teaching of experimental design skills, Chem. Educ. Res. Pract., 2021, 22, 1054–1073.
- [9] J. R. Baird, Metacognition, purposeful inquiry and conceptual change, in: Hegarty-Hazel E. (ed.), The student laboratory and the science curriculum. London: Routledge, 1990, 183–200.
- [10] Riedel M., Füzesi I., Rózsashegyi M., Wajand J.: Tanítható-e a kísérlettervezés az iskolákban? Magyar Kémikusok Lapja, (2021) 198–205.
- [11] Az MTA–ELTE Kutatásalapú Kémia tanítás Kutatócsoport „Megvalósítható kutatásalapú kémia tanítás” projektje során készült oktatási segédanyagok, <http://ttomc.elte.hu/publications/90>
- [12] Az MTA Közoktatás-fejlesztési Kutatási Programja: <https://mta.hu/kozoktatasi-fejlesztési-kutatasi-program/kuldetes-111385>
- [13] J. H. Cothron, R. N. Giese, R. J. Rezba, Students and Research: Practical Strategies for Science Classrooms and Competitions. 3rd edition, Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, IA, 2000.
- [14] L. Chen, S. Xiao, Perceptions, challenges and coping strategies of science teachers in teaching socioscientific issues: A systematic review. Educational Research Review (2021) 100377.
- [15] M. del Mar López-Fernández, F. González-García, A. J. Franco-Mariscal, How Can Socio-scientific Issues Help Develop Critical Thinking in Chemistry Education? A Reflection on the Problem of Plastics. J. Chem. Educ. (2022) 99 (10), 3435–3442.
- [16] J. J. Klemes, Y. V. Fan, P. Jiang, Peng, Plastics: friends or foes? The circularity and plastic waste footprint. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects (2021) 1549–1565.
- [17] R. P. MacDonald, A. N. Pattison, S. E. Cornell, A. K. Elgersma, S. N. Greidanus, S. N. Visser, M. Hoffman, P. G. Mahaffy, An Interactive Planetary Boundaries Systems Thinking Learning Tool to Integrate Sustainability into the Chemistry Curriculum. J. Chem. Educ. (2022) 99 (10), 3530–3539.
- [18] Az MTA–ELTE Kutatásalapú Kémia tanítás Kutatócsoport „Kutatásalapú kémia tanítás és rendszer szemléletű gondolkodás” projektje során készült oktatási segédanyagok, <https://ttomc.elte.hu/publications/92>
- [29] Nemzeti alaptanterv 2020, 5/2020. (I. 31.) Korm. rendelet, Magyar Közlöny 17. sz. 2020. január. 31.
- [20] A 2020-as NAT-hoz illeszkedő tartalmi szabályozók [https://www.oktatas.hu/koznevelas/kerettantervek/2020\\_nat](https://www.oktatas.hu/koznevelas/kerettantervek/2020_nat)
- [21] Az ELTE TTK Természettudományos Oktatásmódszertani Centrum honlapjának galériái: Természettudományos Oktatásmódszertani Centrum (elte.hu)
- [22] B. S. Bloom, M. D. Engelhart, E. J. Furst, W. H. Hill, D. R. Krathwohl, (1956), Taxonomy of Educational Objectives: Part I, Cognitive Domain; McKay: New York, 1956.
- [23] L. Szalay, Z. Tóth, R. Borbás, I. Füzesi: Scaffolding of experimental design skills, Chem. Educ. Res. Pract., (2023), 24, 599–623.
- [24] L. Szalay, Z. Tóth, R. Borbás, I. Füzesi: Progress In Developing Experimental Design Skills, Journal of Turkish Science Education, (2024) (in press)
- [25] OECD, PISA 2015 Technical Report. 2017, Chapter 18, Computer-based tests, 369–374.
- [26] Tanári kérdőív: <https://forms.gle/bpDPxEujb7SfXUwbA>
- [27] Hallgatói kérdőív: <https://forms.gle/LDVD8AQcBNUbdUgC9>  
(Az internetes források utolsó látogatása: 2024. július 9.)

## Hancsók Jenő – Hőke Ferenc

■ Pannon Egyetem, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ,

MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék

hancsok.jeno@mk.uni-pannon.hu

# Nagy kihívás a légi szállítás dekarbonizációja

## Első rész. A cseppfolyós sugárhajtómű-üzemanyagok jellemzői

A fenntarthatóság területén egyre szélesebb nyilvánosság értesül az utóbbi 5–10 évben tudományos igényességgel is megfogalmazott bizonytalanság többirányú megközelítéséről, ami egyre nagyobb érdeklődést váltott, illetve vált ki. Ennek alapvető okai közé tartozik az energia- és nyersanyagkészletek vége, a világ népességének növekedése, a lakosság túlfogyasztása, az egyértelmű környezetszennyezés, valamint a jól érzékelhető éghajlat- és időjárás-változás. Ugyanakkor minden szempontból kielégítő megoldások még nem állnak rendelkezésre. Ennek ellenére vannak olyan törekvések, kezdeményezések és intézkedések, amelyek célja például környezetünk természetes adottságainak megóvása. Ezeknek a mértéke azonban jelentősen eltér a világ különböző térségeiben. Az egyik fontos környezetvédelmi lépés a légkör károsanyag-koncentrációjának, elsősorban az üvegházhatású gázok (ÜHG), különösen például a szén-dioxid mennyiségének jelentős csökkentése. Régóta közismert a CO<sub>2</sub> káros környezeti hatása. Ennek ellenére az utóbbi kb. egy évszázadban a CO<sub>2</sub>-kibocsátás nagysága kb. 8-szorosára növekedett, és a gáz koncentrációja a levegőben már elérte a 415 ppm (v/v) értéket. Természetesen az említett CO<sub>2</sub>-csökkentést csak rendszer szemléletben és kompromisszumokkal (várhatóan olykor esetleg önmegtartóztatással) stb., valamint világméretű összefogással lehet megvalósítani. A világgazdaság meghatározó terü-

tei között vannak olyanok, ahol a CO<sub>2</sub>-kibocsátás jelentős mértékű csökkentése nem, vagy csak részben valósítható meg rövid és középtávon. Ilyen például az acélipar, az üvegyipar, a cementgyártás, a légi közlekedés/szállítás, a vízi szállítás, a közúti áruszállítás.

### A légi közlekedés/szállítás szükségessége, jelentősége

A fenntarthatóság egyik alappillére a kis energiafelhasználású, környezetbarát, gazdaságosan és világméretben megvalósítható mobilitás (élőlények, élettelen tárgyak mozgása, mozgatása szárazföldön, vízen, légtérben különböző tárgyi eszközök – pl. járművek – segítségével). Ezek közül a légi közlekedés/szállítás kiemelkedő előnyei a következők:

- szabad légtér rendelkezésre állása
- a repülőgépek működtetéséhez szükséges üzemanyagok *szervezett rendelkezésre állása* térben és időben a világ valamennyi térségében (pl. kőolajipari vállalatok, légitársaságok)
- nagy távolságok megtétele rövid idő alatt
- viszonylag nagy tömegű anyagok mozgatása
- az emberiség létét és jólétét (pl. kényelem, időtakarékosság/szabadidő-biztosítás) szolgáló mobilitás „elegáns” megvalósítása



- a kb. 1500 kilométernél hosszabb repüléseknek nincs megfelelő alternatív szállítási módja (ezek okozzák a légi közlekedés károsanyag-kibocsátásának körülbelül 80%-át)
  - sürgősségi szállítás (pl. beültetésre váró emberi szervek, orvostechikai, gyógyászati, egészségügyi anyagok stb.)
  - életmentési és katasztrófaelhárítási feladatok rövid idő alatti megoldása [pl. a speciális szakértők (orvos, hegyi, vízi, légi mentő) gyors helyszínre juttatása]
  - bizalmas kezelést igénylő anyagok gyors eljuttatása a felhasználási helyre
  - könnyen romló termékek kellő időben történő célba juttatása
  - a jelenlegi sugárhajtóművekkel szerelt repülőgépek teljes utazótömege folyamatosan csökken a repülési idő alatt az üzemanyag felhasználása miatt
  - magas színvonalú honvédelem kiszolgálása stb.
- [A sugárhajtómű olyan reaktív hajtású erőgép, amely a hatás-ellenhatás törvényének elvén működik (Newton III. törvénye). A repülőgép mozgatásához szükséges tolóerőt úgy állítja elő a hajtómű, hogy a munkaközegének energiaátalakítása során keletkező gázt (vagy folyadékot) az átalakító térhez kapcsolt fúvócsőből nagy sebességű sugárként áramoltatja ki, melynek hajtóerejével ellentétes értelmű erő (erőlökés, tolóerő) képződik. Mivel a sugárhajtóműben jön létre a hajtómű munkaközegébe bevezetett energia átalakítása mozgási energiává, valamint a mozgáshoz a tolóerő is itt képződik (a kiáramló gázok reakcióerejeként), ezért a sugárhajtómű a motor és a hajtóberendezés kombinációja. A gázturbinában folyamatos égés valósul meg a dugattyús belső égésű motorokétól eltérően!]

Természetesen már ezen a helyen is szólni kell a légi közlekedés/szállítás főbb hátrányairól is:

- jelentős mennyiségű és nagy értékű a nyersanyagok/alapanyagok felhasználása,
- nagy tőkeigényű beruházás,
- jelentős helyigény a szárazföldön és a légtérben,
- jelentős zajkibocsátás,
- nagyméretű kiszolgáló létesítmények,
- költséges navigációs műszaki megoldások alkalmazása,
- nagy mennyiségű üzemanyag (a kőolajipari termékek 8–10%-át teszi ki) és egyéb anyagok (pl. kenőanyagok) előállítási igénye és felhasználása; egy légitársaság *üzemanyag-költsége a teljes kiadások kb. 30%-áig is terjedhet*,
- viszonylag nagy mértékű környezetszennyezés a repülés teljes életciklusú megvalósulása során [például az üzemanyag égéstermékei (5–6% CO<sub>2</sub>, 2% vízgőz/jégkristályréteg/pehelyfelhő, 0,03% NO<sub>x</sub>, szulfátrészecskék, el nem égett szénhidrogének, egyéb nitrogénvegyületek, korom), gumikopadék, aszfaltkopadék, kondicionáló folyadék: jegesedésgátló]. (Fontos megjegyezni, hogy a légi forgalom során keletkező más égéstermékek környezetkárosító hatását kb. kétszeres értékűnek becsülik a CO<sub>2</sub>-éhez viszonyítva, tehát rendszeres szemléletű kezelésre van szükség!)

A légi közlekedés/szállítás a világ antropogén szén-dioxid-kibocsátásának kb. 2,7%-át okozza. Ez az érték 2050-re 3%-ra is emelkedhet. A CO<sub>2</sub>-kibocsátás abszolút értékben kb. 905 millió tonna volt 2019-ben [1].

A légi közlekedés/szállítás károsanyag-kibocsátásának csökkenése nagy és rendszeres szemléletű kihívás, ami magában foglalja – többek között – a következőket:

- a repülőgépek és hajtóművek továbbfejlesztése, hatékonyságuk növelése (pl.: az új repülőgépvázak és korszerűbb hajtó-

művek kifejlesztése, valamint alkalmazása kb. 70–80%-kal javította a repülés hatékonyságát, hajtóanyag/ülés egységben; a hajtóanyag-fogyasztás 40–45%-kal csökkent 1965 és 2010 között) [2] (az ezeken a területeken még elérhető további hatékonyságnövekedés várhatóan nem lesz elég az elvárt CO<sub>2</sub>-kibocsátáscsökkentés eléréséhez)

- új meghajtási módok (pl.: elektromos, hidrogén, hibrid) bevezetése
- a forgalom szervezés-/irányítás és -szabályozás, -korszerűsítés, járatok terhelhetőségének kihasználása kb. 54%-kal csökkentette a CO<sub>2</sub>-kibocsátás/utaskilométer értékét 1990 óta 2018-ig [2]
- a hagyományos kőolaj-eredetű sugárhajtómű-üzemanyagok teljes élelciklusú károsanyag-kibocsátásának csökkentése
- kisebb „szénlábnyommal” rendelkező üzemanyagok (SAF: Sustainable Aviation Fuels) kifejlesztése és alkalmazása stb.

Általános vélemény, hogy a felsoroltak közül rövid és középtávon (2040–2050) kiemelkedő szerep vár a hagyományos sugárhajtómű-üzemanyagok (olykor röviden: JET-ek) előállítási technológiáinak fejlesztésére/korszerűsítésére és a megújuló cseppfolyós hajtóanyagok korszerű előállítási eljárásainak kidolgozására és alkalmazására. Ennek előfeltétele azonban a cseppfolyós üzemanyagokat alkotó vegyületek (vegyületcsoportok) szerkezete és analitikai, valamint alkalmazási tulajdonsági közötti összefüggéseknek az ismerteknél részletesebb feltárása és figyelembevétele. Ehhez viszont feltétlenül ismerni kell a sugárhajtómű-üzemanyagok részletes minőségi követelményeit is. Kétrészes közleményünk első cikkének további részében ez utóbbi két területet tárgyaljuk.

A repülőgép-turbinák (közismerten sugárhajtóművek) számításba vehető hajtóanyagai közül ebben a kétrészes közleményben a *cseppfolyós halmazállapotúakat*, és ezeken belül is a szénhidrogén-összetevőket (vegyületeket) tartalmazókat tárgyaljuk. Ennek oka alapvetően az, hogy a repülőgép-turbinák régóta (kb. 1945-től, tehát közel 80 éve) bevált *cseppfolyós állapotú sugárhajtómű-üzemanyagai a különböző szerkezetű szénhidrogén-elegyek (forráspont-tartomány: kb. 100 és 300 °C között)*, és jelenleg is ezeket alkalmazzák a világon meglévő repülőgép-állomány közvetlen energiaforrásaként. (Ezeket döntő részarányban, >99,5%-ban kőolajból állítják elő, tehát származtatott energiaforrások). A sugárhajtómű-üzemanyagok végső minőségének beállítására adalékokat is alkalmaznak, amelyek általában nem csak szénből és hidrogénből álló vegyületek. [Adalékoknak nevezzük azokat a természetes és/vagy szintetikus anyagokat, amelyeket a termékhez nagyon kis mennyiségben (pl. 2–500 mg/kg) hozzáadva javítják azok már meglévő tulajdonságát (tulajdonságait), illetőleg azoknak új tulajdonságot(ka)t kölcsönöznek.]

A légi közlekedés/szállítás – több nagyon fontos előnye miatt – a világon az évek során folyamatosan növekedett, kivéve a világválságok időszakát [3]. Ez a tendencia várható a jövőben is. Például a légi utasszállítás esetén a különböző előrejelzések 2,4–3,7%/év átlagos növekedést jósolnak [4]. 2023-ban kb. 720 · 10<sup>9</sup> utaskilométer/hónap értékű volt az utasforgalom, míg az átlagos teherszállítás (áruszállítás és postai küldemények mennyisége) kb. 20,5 · 10<sup>9</sup> t-megtett km/hó volt. Az előbbi érték már elérte a Covid-19 előtti megfelelő adatokat, míg az utóbbi még kb. 10%-kal elmarad azokétól.

Az előzőeknek megfelelően a világon felhasznált sugárhajtómű-üzemanyagok mennyisége (**I. táblázat**) növekedett. Értéke a világon 1990 és 2019 között kb. 235 · 10<sup>6</sup> tonna kőolaj-egyenérték/évről kb. 360 · 10<sup>6</sup> toe/évre változott. A becslések szerint értéke



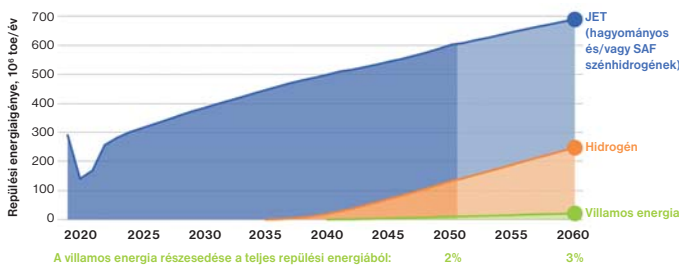
2040-ben elérheti akár az  $560 \cdot 10^6$  toe/évet, míg 2050-ben a kb.  $700\text{--}800 \cdot 10^6$  toe/évet is [5]. A legnagyobb mértékű növekedés Kínában és Ázsia többi részén várható. Az USA-ban 2019-ben kb.  $80 \cdot 10^6$  tonna volt a sugárhajtómű-üzemanyag felhasználása, míg Európában kb.  $50 \cdot 10^6$  t/év (2020).

1. táblázat. Sugárhajtómű-üzemanyagok tényleges és várható felhasználása a világon

Év	Felhasznált mennyiség, $10^6$ toe/év
1990	235
2005	300
2009	250
2019	360
2020	225
2023	340
2040	560
2050	700–800

Természetesen a fosszilis (kőolaj-) eredetű JET-ek már említett nagyon káros környezeti hatása miatt az utóbbi kb. 15–20 évben a világ fejlett régióiban jelentős K+F tevékenység indult a *megújuló forrásokból történő előállításra*. A fő cél a kőolaj-eredetű JET-ek *jobb minőségű komponenseinek (nyílt láncú paraffinok/alkánok és cikloparaffinok)*, illetve azok elegyeinek előállítása megújuló nyers- és alapanyagforrásokból anyag- és energiatakarékos, környezetbarát és gazdaságos módon. Ennek előfeltétele tehát olyan megújuló nyers- és alapanyagforrások felismerése, amelyek a Földön általánosan és nagy mennyiségben rendelkezésre állnak az elvárt minőségben, illetve természetűek, kinyerhetőek stb. Ezt követően ki kell választani azokat a fizikai, kémiai és biológiai módszereket (pl. szintézis/előállítási utakat), amelyekkel ezekből kiváló minőségű, az érvényes szabványok előírásait mindenben kielégítő minőségű sugárhajtómű-üzemanyagok állíthatók elő. Érthető módon ezen *megújuló hajtóanyagok* teljes életciklusú károsanyag-kibocsátása lényegesen (kb. 65–90%-kal) kisebb, mint a kőolajalapú keroziné. Ezeket fenntartható repülési üzemanyagoknak (SAF) nevezik. (Előállításukat és repülőgép-turbinák hajtóanyagaként való alkalmazhatóságukat a kétrészes közlemény második cikkében ismertetjük.)

Nagyon intenzív kutatómunka folyik a hidrogén és az elektromos meghajtású repülőgépek kifejlesztésére és alkalmazásba vételére. Ennek ellenére a különböző eredetű sugárhajtómű-üzemanyagok igényének (felhasználásának) tényleges és várható ala-



1. ábra. A különböző eredetű sugárhajtómű-üzemanyagok igényének tényleges és várható alakulása a világon (az ábra saját módosítás és szerkesztés [2] alapján)

kulása csak lassú átmenetet tükröz ezek irányába (1. ábra) [2]. Ez különösen érvényes a nagy távolságú légi szállítás/közlekedés esetén.

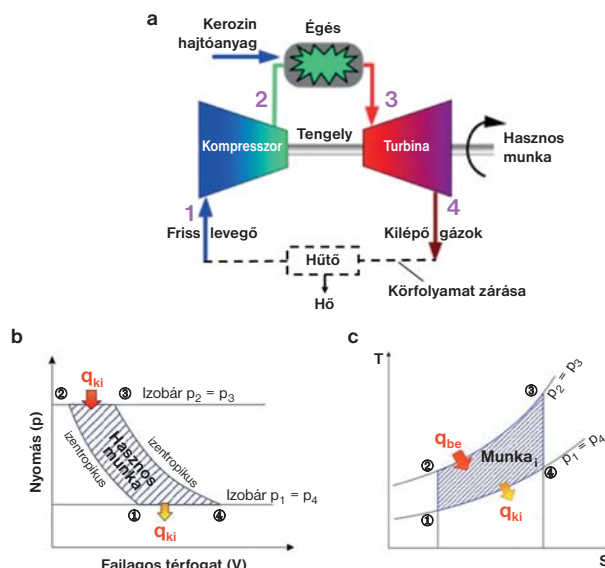
Az 1. ábra jól tükrözi, hogy a hidrogén üzemanyag elterjedése kb. 2035 után, míg az elektromos meghajtásé kb. 2045 után várható, és az előrejelzések alapján kezdetben gyakorlatilag csak a rövid távolságú járatok esetén.

## A cseppfolyós sugárhajtómű-üzemanyagok minőségi követelményei

A kőolaj-finomítói termékek közül a sugárhajtómű-üzemanyagok minőségbiztosítási rendszere kiemelkedően a legszigorúbb és legköltségesebb a motorhajtóanyagok közül a teljes értéklánc mentén. Ez vonatkozik a forgalomba hozatali engedélyeztetésre is. Ennek fő oka alapvetően a széles körű és nagyfokú biztonságtechnikai követelményeknek tudható be, amelyek a légi szállítás/közlekedés egyedi jellegéből erednek.

### A jelenlegi sugárhajtóművek (cseppfolyós) hajtóanyagival szemben támasztott főbb általános követelmények:

- *Alkalmasság energiaátadásra a repülőgép-turbinán (akár extrém) működési feltételei között (ki kell elégíteniük a Brayton–Joule termodinamikai körfolyamatot (2. ábra) [6].*



2. ábra. A Brayton–Joule-folyamat (nyitott) mechanikus megvalósítása (a), valamint a hozzá tartozó P–V (b) és T–S diagram (c) [6]

A Brayton–Joule-folyamatban – gázturbinák esetében ugyanúgy, mint a dugattyús motoroknál – három fő egység vesz részt: gázkompresszor, égő(égető)kamra, expanziós turbina. A valóságos körfolyamat a következő: 1–2: adiabatikus állapotváltozás → kompresszió; 2–3: izobár állapotváltozás → hőbevitel; 3–4: adiabatikus állapotváltozás → expanzió; 4–1: izobár állapotváltozás → hőleadás. A folyamat zárását jelölő, szaggatott vonalas rész a nyitott rendszerben hiányzik, mivel abban folyamatosan hideg gázt szívhatnak be és komprimálnak.

A valóságban sem a kompresszió, sem az expanzió nem lehet izentropikus (állandó entrópia), ezért a kompresszorban és az expanziós gépben fellépő veszteségek csökkentik a hatásfokot. A teljesítmény növelésének legegyszerűbb módja a kompresszióviszony fokozása.

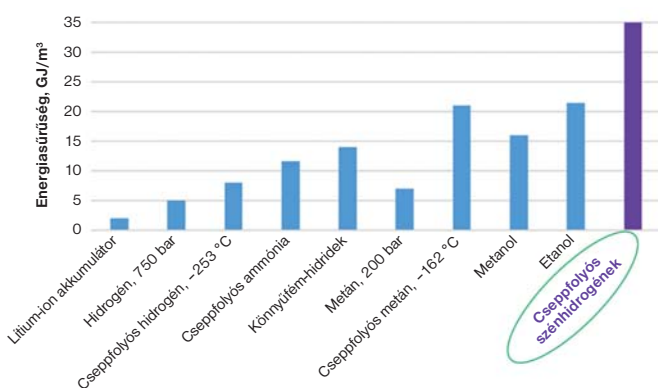
A gázturbinás repülőgépek üzemanyagainak teljesítményét



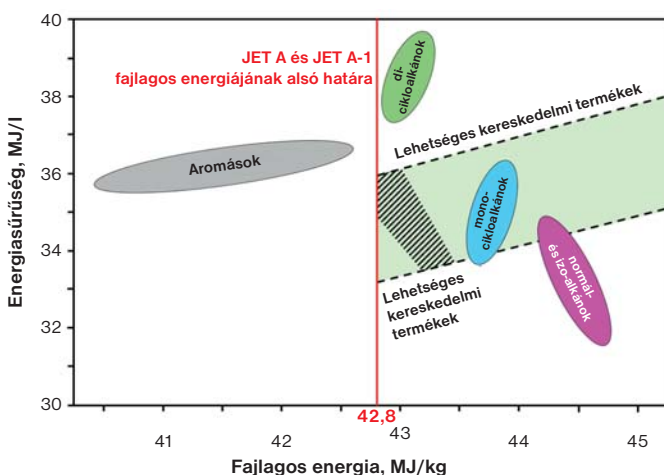
az határozza meg, hogy az üzemanyag milyen mértékben képes „kiszolgálni” a gázturbina Brayton–Joule-ciklusát.

– Nagy energiataralom (nagy energiasűrűség és fajlagos energiataralom; **3. és 4. ábra**) [7, 8].

Az energiasűrűség és a fajlagos energia az úgynevezett *teljesítménytulajdonságok* közé tartoznak. Idesorolják még például az alacsony kristályosodási pontot, a károsanyag-kibocsátást (tisztá égést), a hőstabilitást (üzemanyag-lebomlás és/vagy kokszképződés hő hatására). Ezek együtt meghatározzák a hasznos teher tömegét (tömeg-tartományát), a hajtóanyag főbb minőségi követelményeinek határértékeit, a szállítási távolság határait és a repülési ciklus hatékonyságát.



3. ábra. Különböző motorhajtóanyagok energiasűrűsége [7]



4. ábra. Szénhidrogéncsoportok/elegyeik energiasűrűsége és fajlagos energiája (az ábra saját módosítás és szerkesztés [8] alapján)

- Az *üzemanyagok alkalmazhatósági* („működőképességi”) korlátainak jellemzésére szolgáló minősítő jellemzők (pl. a már említett kristályosodási pont, hőstabilitás) értékeinek kielégítése. (Ezek ismerete rendkívül fontos a hajtóművek speciális üzemelési feltételei között.)
- Környezetbarátság (lehetőleg „zéró” eredőjű károsanyag-kibocsátás a teljes életciklus alatt).
- Ne legyen veszélyes (pl. ne legyen mérgező, robbanásveszélyes, könnyen bomló).
- Gazdaságos és fenntartható előállíthatóság
  - nyers- és alapanyagok rendelkezésre állása hosszú távon, illetve korlátlanul,
  - előállíthatóság alapanyag- és energiatakarékos, környezetbarát és gazdaságos módon,
  - versenyképes ár (jövedéki adóval együtt!),

- rendelkezésre állás *térben és időben* az elvárt mennyiségben és minőségben (ellátási lánc, infrastruktúra megléte).
- Fejlett biztonságtechnika rendelkezésre állása a felhasználáshoz [a logisztikai rendszerben (szállítás, tárolás stb.)].
- *Azonnali felhasználhatóság* [hajtómű- és infrastruktúra-kompatibilitás, „drop in”, azaz teljes egyenértékűség a hagyományos repülőgép-turbina üzemanyaggal; azonnal felhasználható a meglévő infrastruktúrában és hajtóműben azok megváltoztatása nélkül üzemanyagként; szükség esetén más eredetű (jelenleg csak kőolaj-eredetű) kerozinnal keverve], hosszú időtartamon (több évtizeden) át stb. (Az ezen előírásoknak nem megfelelő hajtóanyagok részére kiegészítő/új infrastruktúrát kell kialakítani, illetve kiépíteni.)

A cseppfolyós sugárhajtómű-üzemanyagoknak az előzőekben bemutatott általános jellemzőkön kívül – mint már arra utaltunk – még számos, nagyon speciális minőségi előírást is ki kell elégíteniük [9]. Ezek – a teljesség igénye nélkül – a következők:

- jó égési tulajdonságok (pl. cetánszám)
- nagy izo- és cikloparaffin-tartalom (nagy hidrogéntartalmú szénhidrogének)
- égésterméknei ne, vagy csak a lehető legkisebb mértékben szennyezzék a környezetet, lehetőleg zéró károsanyag-kibocsátás a teljes életciklus alatt
- a lehető legkisebb aromástartalom (csak a szerkezeti anyagok/tömítések kifogástalan feladatellátása érdekében szükséges részarány)
- hő- és kémiai ellenállóképesség (jó hő- és tárolási stabilitás),
- olefinmentesség
- kis kén-tartalom
- alacsony kristályosodási pont
- megfelelő viszkozitás alacsony hőmérsékleten (–20/–40 °C)
- kellő illékonyosság
- megfelelő forráspont-tartomány (forráspontgörbe-lefutás)
- vízmentesség
- halogénmentesség
- fémmentesség
- mechanikai szennyezéstől mentesség
- jó vezetőképesség
- adalékolthatóság (adalékoldó képesség/összeférhetőség adalékokkal)
- jó adalékérzékenység
- ne legyen mérgező
- ne okozzon korróziót
- elegyíthetőség különböző eredetű keverőkomponensekkel
- könnyű, veszélytelen kezelhetőség
- hozzájárulás a kis zajszint biztosításához
- elfogadható bekerülési költség (kis önköltség) stb.

## A sugárhajtómű-üzemanyagok fontosabb minőségi előírásai

Annak a megítélésére, hogy a sugárhajtómű-üzemanyagok megfelelnek-e az előzőekben részletesen bemutatott általános és speciális követelményeknek, különböző anyagi jellemzők megfelelő határértékei szolgálnak.

A sugárhajtómű-üzemanyagok minőségét, beleértve az alkalmazható keverőkomponenseket és adalékokat az egyes országok szabványai rögzítik. (Az Európai Unióban nincs egységesen kötelező szabvány sugárhajtómű-üzemanyagok minőségi előírására, mint például a motorbenzinekre és a dízelgázolajokra.)



A jelenlegi sugárhajtóművekben döntő részarányban (>99,5%) alkalmazott kőolaj-eredetű hajtóanyagok fontosabb speciális minőségi követelményeit például az amerikai ASTM D1655-23 szabványban („Standard Specification for Aviation Turbine Fuels”) írják elő, amely általánosan elfogadott, és más nemzeti szabványok jelentős részének alapját képezi. A különböző országok termékszabványainak előírásai alapján általánosan elfogadott az a megállapítás, hogy csak néhány tulajdonság értékében van eltérés, de azok mértéke is kicsi.

## Szabványban előírt minőségi jellemzők

A következőkben megadott egyes számértékek a vonatkozó nemzetközi szakirodalomban is megtalálhatóak.

**Fajlagos energia, legalább 42,8 MJ/kg;** a fajlagos energiát a hajtóanyag egy molekulájában lévő hidrogén- és szénatomok aránya jelentős mértékben befolyásolja. (A nagyobb H/C atomarány nagyobb fajlagos energiát jelent, mert kisebb a kötési erő/„feszültség”). Nagy fajlagos energiájú hajtóanyagból kevesebb kell ugyanazon távolság megtételéhez, így kisebb lesz a felszálló tömeg, ami kritikus tényező.

**Sűrűség, 775–840 kg/m<sup>3</sup>;** a folyadéksűrűség alapvetően befolyásolja az energiasűrűséget. Nagyobb mértékű változásának hatására az energiasűrűség csak kisebb mértékben változik, azaz adott szűk sűrűségi tartományban alig változik.

**Kinematikai viszkozitás (–20 °C), legfeljebb 8,0 mm<sup>2</sup>/s;** szivattyúzhatóság alacsony hőmérsékleten.

**Kristályosodáspont, legfeljebb –40 °C (JET A) és –47 °C (JET A-1);** az üzemanyag nem képezhet kristályokat repülés közben az adott magasságon (dugulásveszély!). Hosszú távú repülés során kiemelten fontos jellemző az optimális repülési profil (útirány), magasság stb. kihasználása szempontjából.

**Forráspont-tartomány (kezdő forráspont: megadandó, 10 ftf % átdesztillál: max 205 °C-ig, végforráspont: max. 300 °C);** a forráspontgörbe megfelelő lefutása biztosítja a kellő illékonytságot.

**Lobbanáspont, legalább 38 °C;** biztonságtechnikai előírás, pl. kezelés, tárolás során.

**Hőstabilitás;** fontos a motorban és az üzemanyag-befecskendezőben a magasabb hőmérséklet fenntartása érdekében

**Aromástartalom, legfeljebb 25 v/v%;** tömítések duzzadásának biztosítása, viszonylag jó kenőképesség, nagy energiasűrűség, de kisebb fajlagos energia és jelentős koromképződés.

**Összes kéntartalom, legfeljebb 0,30 m/m%;** hozzájárulás a kenőképesség biztosításához. Hátrány: részecskékibocsátás, savas eső képződésének lehetősége, korrózió előidézése stb.

**Nem kormozó lángmagasság, legalább 25 mm;** tiszta égés (és részben az aromástartalom) jellemzője. A korom és a részecskék csak kismértékű keletkezése jelentősen csökkentheti a karbantartási költségeket (pl. lerakódások elkerülése, szerkezeti anyagok megóvása a kopástól).

**Rézlemez-korrózió, 1. osztály;** korróziós kockázatokra jellemző minősítési adat.

**Összes savasság, legfeljebb 0,10 mg KOH/g;** szerkezeti anyagokkal való összeférhetőségre és a korróziós kockázatokra utal.

**Szennyeződések (gyantatartalom, részecskeszám/méret);** áramlási, kiválási, kiülepedési és elektromos vezetőképességi problémák elkerülése.

**Elektromos vezetőképesség (20 °C), 50–600 pS/m;** sztatikus felöltődés megakadályozása adalékolással.

A fentiekben ismertetett, szabványokban is előírt minőségi előírásokon kívül még van néhány egyéb tulajdonság, ami a sugárhajtómű-üzemanyagok fontos jellemzőjének tekinthető. Ilyenek például a következők: energiasűrűség (energiatartalom a hajtóanyag térfogatára vonatkoztatva; lásd sűrűség), gyulladási hajlam és égési jellemzők (pl. cetánszám), felületi feszültség (hajtóanyag-eloszlás az égéstérben), károsanyag-kibocsátás (CO, CO<sub>2</sub>, részecske, korom) stb.

Az előzőekben felsorolt tulajdonságok között természetesen vannak alapvetően fontos és meghatározó jellegűek, továbbá kiegészítőnek tűnő, de nagyon kritikus tulajdonságok is. Különösen az utóbbiak biztosítása érdekében a különböző technológiákkal előállított sugárhajtómű-üzemanyagok esetében szükség van alacsony szintű adalékolásra (adalékanyag fogalmát lásd előbb) is. A különböző hatású *adalékanyagok* a következők [9]: oxidációgátlók, fémdeaktivátorok, jegesedésgátlók, vezetőképesség-javítók, biocidok (mikrobiológiai fertőzőttséggátlók), szivárgásjelzők, korróziós inhibitorok, kenőképesség-javítók, az üzemanyagellátó rendszerben esetlegesen kiváló víz hatásainak kezelésére szolgáló adalék. Az említett adalékok szerkezeti képletét vagy a gyártó vállalat által megadott, a kereskedelmi forgalomban használt, ténylegesen bejegyzett márkanévét szigorúan előírják. Ehhez hasonlóan megadják az adalékok alkalmazási koncentrációhatárait is, ami általában 1 mg/kg-tól (mg/l-től), néhány 10, esetleg 100 mg/kg (mg/l) értékig terjed.

Az előzőekben bemutatott tulajdonságok általában szigorúbbak és kevésbé változtathatóak (finomhangolhatóak), mint a szárazföldi vagy a tengeri szállítás esetén, mert egyértelműen nagyobbak a biztonságtechnikai követelmények, sokkal nagyobbak a repülőgépek és a hajtóművek bekerülési költségei, továbbá széles körűek és fokozottabbak az üzemanyagokkal szemben támasztott teljesítménykövetelmények. Ezenkívül a vizsgálati körülmények is erősen szabályozottak, kis hibahatárokkal.

A sugárhajtómű-üzemanyagok minőségi előírásai – a motorbenzinnel és a dízelgázolajokkal ellentétben – nem változnak éghajlatonként, évszakonként vagy földrajzi helyenként. Annak érdekében, hogy az alkalmazandó hajtóanyag megfeleljen az előírásnak, a keverést, a minőségbiztosítást és -ellenőrzést először a kőolaj-finomítókban végzik.

A JET ellátási lánc is eltér a motorbenzintől és a dízelgázolajokétól. A repülőtereken nagy mennyiségű JET-nek kell rendelkezésre állnia. Általában csővezetéken vagy uszályon/kisebb hajón érkezik a JET a terminálokra, majd onnan a repülőterekre vagy közvetlenül az utóbbiakra. A légitársaságok több szállítótól is vásárolnak JET-et, így repülőgépeik számára az adott repülőtéren mindig van megfelelő minőségű hajtóanyag.

Az USA-ban előírják a repülőgépturbina-üzemanyagok minősítésének és jóváhagyásának lépéseit az ASTM D 4054 (2019b) szabványban. Ebben részletesen megadják az említett üzemanyagok és adalékok értékelésének és jóváhagyásának folyamatát is.

## A sugárhajtómű-üzemanyagok összetevői és minőségi jellemzői közötti kapcsolatrendszer

A sugárhajtómű-üzemanyagokra vonatkozó minőségi jellemzők fentiekben közölt határértékeit a hajtóanyagot alkotó vegyületek, illetve vegyületcsoportok kémiai szerkezete és részaránya határozza meg.

A napjainkban kereskedelmi forgalomba hozott kerozinokat (sugárhajtómű-üzemanyagokat) – az előzőekben már részleteztük alapján – gyakorlatilag csak kőolajból állítják elő [2]. Ezek a hajtóanyagok nem tartalmaznak nitrogén- és oxigéntartalmú



2. táblázat. A sugárhajtómű-üzemanyag tulajdonságai és a vegyületcsoportok molekulaszervezetének kapcsolatrendszere

Megnevezés	n-alkánok	Izoalkánok, kevés elágazással	Izoalkánok, több elágazással	Egygyűrűs cikloalkánok	Kétgyűrűs cikloalkánok*	Aromások
Fajlagos energia	++	++	++	+	0	-
Hidrogén/szén atomarány	++	++	++	+	+	-
Sűrűség	-	-	-	+	++	+
Energiasűrűség	-	-	-	+	++	++
Hőstabilitás	+	+	+	+	+	0
Származtatott cetánszám	++	+	-	+	0	-
Koromképződés	++	++	++	+	+	--
Általános károsanyag-kibocsátás	++	+	0	0	-	--
Kristályosodáspont	-	+/-	+	+	+	+
Viszkozitás alacsony hőmérsékleten	-	+	++	0	0	-
Nemkormozó lángmagasság	++	+	0	+	0	--
Gyantatartalom	++	++	++	+	+	-
Kenőképeség	+	0	-	+	+	+
Tömítések duzzasztása**	-	-	-	0	0	++
Tömítések duzzasztása***	+	+	+	+	+	nem értelmezhető
Gőznyomás égési hatékonyság	0	+	++	0	-	-
lobbanáspont szempontjából	0	-	--	0/+	+	+
Adalékoldó hatás	0	0	-	+	++	++
Mérgező hatás	0/-	0/-	0/-	-	-	--

(Hatás: ++: erős pozitív; +: pozitív; 0: nem egyértelmű; -: negatív; --: erősen negatív)

\* legalább 2 közös szénatomuk van, \*\* ≥ 10% aromástartalmú JET, \*\*\* aromásmentes JET

vegyületeket (kivéve az adalékokat), olefin- és fémmentesek. Kéntartalmuk legfeljebb 3000 mg/kg (vegyület formájában). A szénhidrogének szénatomszáma 7–18, általában 8–15 (egy átlagos molekula 11–12 szénatomot tartalmaz). Fő alkotóik körülbelül részarányai: 18–40% izoparaffin, 15–25% normál paraffin, 15–30% egygyűrűs paraffin, 1–15% kétgyűrűs paraffin, 11–20% (alkil)-aromás szénhidrogén.

A jó minőségű cseppfolyós sugárhajtómű-üzemanyagok kifejlesztéséhez elkerülhetetlenül fontos a velük szemben támasztott általános és speciális követelmények, továbbá a hozzájuk rendelhető egyes konkrét tulajdonságok (pl. fajlagos energia, hőstabilitás, kristályosodáspont) és az azokat biztosító, illetve azok változását befolyásoló vegyületcsoportok (pl. izoparaffinok, cikloparaffinok) és fontosabb (domináns) egyedi alkotóik kémiai szerkezete közötti összefüggések részletes ismerete is. Ezek közül a legfontosabbakat a 2. táblázatban foglaltuk össze. A táblázat adatai jól érzékeltetik, hogy a normál és az izoparaffinok (összegképletük:  $C_nH_{2n+2}$ , ahol n a szénatomszám) rendelkeznek a legtöbb előnyös tulajdonsággal. Ezek esetleges hiányosságait viszont a cikloparaffinok (általános összegképlet:  $C_nH_{2(n-k)+2}$ , ahol n a szénatomszám, k a gyűrűk száma) jól kiegészítetik.

A 2. táblázat alapján összességében az is megállapítható, hogy az aromások hatása a legkedvezőtlenebb a JET-ek tárgyalt tulajdonságaira. Így például a kezdeti koromképződés és a részecskekibocsátás legjelentősebb forrásai. A földközeli és a magas légköri részecskekibocsátás a légközlekedés egyik legnagyobb környezetkárosító hatása. Ugyanakkor a kőolaj-eredetű sugárhajtómű-üzemanyagokban az aromás szénhidrogének je-

lenléte okozza a tömítések duzzadását, ami a JET üzemanyag fel-tétlenül szükséges tulajdonsága. (Megjegyzés: már vannak nagyon biztató eredmények az aromások cikloalkánokkal való helyettesítésére! Sőt a legújabb kutatások szerint azok a tömítések, amelyek korábban nem érintkeztek aromástartalmú üzemanyaggal, azok is megfelelő duzzadási hajlammal rendelkezhetnek aromásmentes JET-ek esetében is.)

**Köszönetnyilvánítás.** A közlemény az Európai Regionális Fejlesztési Alap által támogatott GINOP-2.3.2-152016-00053 projekt, „Stratégiai Műhelyek Kiválósága” [„Molekulaszervezetében nagy hidrogéntartalmú, cseppfolyós üzemanyagok kifejlesztése (hozzájárulás a fenntartható mobilitáshoz)”] és a TKP2021-NKTA-21 számú projekt keretében a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2021. évi Tématerületi Kiválóság Program finanszírozásában készült.

IRODALOM

- [1] Statista; Carbon dioxide emissions from commercial aviation worldwide from 2004 to 2022, letöltve: 2024.05.30.
- [2] WAYPOINT 2050: An air transport action group project, második kiadás, 2021.
- [3] IATA: Air Cargo Market Analysis, 2023. + IATA: Air Passenger Market Analysis, 2023. + korábbi IATA-adatok.
- [4] ICCT: Polishing my crystal ball: airline traffic in 2050, 2022.
- [5] Thunder Said Energy (the research consultancy for energy technologies): Jet fuel demand: by region and forecasts to 2050?, 2023.
- [6] Bahman Zohuri: Compact Heat Exchangers: Selection, Application, Design and Evaluation, Springer Cham, Chapter 6, September 2017, DOI: 10.1007/978-3-319-29835-1\_6
- [7] Advanced alternative liquid fuels: For climate protection in the global raw materials change, ProcessNet, 2018.
- [8] Shane Kosir, Robert Stachler, Joshua Heyne, Francesca Hauck: High-performance jet fuel optimization and uncertainty analysis, Fuel (2020) 281, 118718. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118718>
- [9] Srivastava, S. P., Hancsók, J.: Fuels and Fuel-Additives, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2014. (ISBN: 978-0-470-90186-1, 376 oldal)





# Az alap- és fejlesztő kutatások együtt járnak a munkámban

Beszélgetés Kozma Gábor Innovációs díjas kutatóval

*A Szegedi Tudományegyetem 2024. évi Innovációs Díjának elnyerése kapcsán az egyetem honlapján megjelent interjúban hallhattunk arról, hogy az egyik fontos feladatod a tanszékre érkező fejlesztő kutatási megkeresések fogadása és előkészítése az érdemi tárgyalásokra. A beszélgetésben be is mutattatok néhány eredményes innovatív fejlesztést.*

*Most, indulásként, a sikerig vezető út érdekelne. Azért is, mert fiatal kutató-korom tapasztalatai bizony nem voltak nagyon pozitívak az ipari megbízásokkal kapcsolatban. Sokszor már ott elakadtak a megbeszélések, hogy nem sikerült megfogalmazni a konkrét kutatási célt. Nem mindig sikerült a közös nyelvet megtalálni. Mi a sikeres együttműködés titka?*

Erre nincs pontos recept. Talán a legfontosabb, hogy már az első megkeresésnél tudjuk szűrni a lehetőségeket, lássuk, hogy a megbízó mit akar, és egyáltalán létezik-e arra a tudományban olyan megoldás, amiből ki lehet indulni. Néha a valóságtól egészen elrugaszkodott vagy olyan kéréssel keresnek meg minket, ami az adott szakterület ismeretének hiányából fakad. Ez persze nem az ő felróható hiányosságuk, hiszen pont azért keresnek meg minket, mert ehhez nekünk kell érteni, és ezért az is a feladatunk, hogy érthetően el tudjuk magyarázni, mi hogyan működik és mik a realitások.

A második lépés leginkább már rajtunk múlik, hiszen ha olyat is kérnek, ami nem valósítható meg, nekünk tudnunk kell alternatív megoldásokat felmutatni, olyan technológiákat, amelyek választ adhatnak a problémáikra. Ez széles körű ismeretet és gyakran alapos utánajárást igényel. Amennyiben viszont megoldható feladatot kapunk, akkor ebben a szakaszban kell választ adnunk arra, hogy azt a mi tudásunkkal és infrastruktúránkkal képesek vagyunk-e teljesíteni. Emellett pedig az is fontos, hogy milyen keretek között végezzük a közös munkát, esetleg valamilyen pályázattal segítsük a projektet, és ezzel is növeljük a felhasználható anyagi forrásokat, vagy egy rövidebb megbízási szerződés keretein belül dolgozzunk együtt. Végül ha megértjük egymást és a megoldandó probléma is pontosan definiált, akkor kezdődhet el az érdemi munka. Szerintem a kommunikáció a legfontosabb egy ilyen jellegű közös fejlesztés során. Ha nincs folyamatos információcsere, nagyon eltérhetnek egymástól az igények és az elvárások.

*Említenél egy emlékezetes projektet, amely valami okból különösen a szívedhez köt?*

Egy nagyon hosszú és a mai napig együttműködésben maradt fejlesztésünk a nanoméretű vasrészecskék fejlesztése volt, amit talajvízek remediálására dolgoztunk ki. Ez volt az első ipari megbízási munkám, és tankönyvi példája annak a folyamatnak, amiről egy ilyen történet szól. Megkeres egy cég, hogy van ez a



nanoméretű vas, ami tehát már nem újdonság, és az sem, hogy ezzel a klórozott szénhidrogének ártalmatlanítása kivitelezhető. De az előállítás drága, egyelőre csak laboratóriumi keretek között működik, és hatalmas mennyiségi igény lenne a gyártásra. Ezenkívül számos olyan kérdés merült fel menet közben, ami miatt mintegy évtizedes fejlesztésről beszélhetünk, és igazából a mai napig együttműködésben vagyunk. A fejlesztés 250 ml-es főzőpoharakkal indult, majd pár év múlva már egy általunk megtervezett terepi gyártósorral napi 10 m<sup>3</sup> vasszuszpenziót voltunk képesek előállítani egy valós kármentesítésen, valós terepi viszonyok között. Erre a történetre nagyon is igaz, hogy idővel az emlékek megszépülnek, mert akkor rengeteg álmatlan éjszakát okozott ez a projekt, de ma már nagyon büszke vagyok rá, hogy részese lehettem.

*Alapkutatási témából készítettél egyetemi doktori értekezéset néhány éve. Beavatnál bennünket a részletekbe?*

Még hallgatókoromban kezdtem el foglalkozni a mechanokémiával előállítható nanostruktúrákkal, amit később a PhD-fokozat megszerzéséig, illetve máig űzök. A mechanokémiában kinetikai energiát használunk fel egy kívánt reakció lejátszódásához.



A számtalan preparatív eljárás között az az előnye, hogy szilárd anyagok közti reakciók esetén is alkalmazható és többnyire nem igényel oldószert vagy segédanyagot. Ezáltal az eljárás egyszerű, gyors és nagy mennyiségű minta előállítására alkalmas. Ezenfelül ha a körülményeket jól állítjuk be, a kapott termék a nanoméret tartományába esik, ami nagyon jól illeszkedik a tanszéken folyó kutatások profiljába. Azt is vizsgáltam, hogy a mechanokémiával milyen szerkezetbeli változásokat lehet előidézni, ami már kifejezetten a mechanokémia finomhangolásának területe. Erre nagyon jó példa a különböző titanátszerkezetek és titán-dioxid-kristályszerkezetek előállítása volt, amit pusztán az őrlési paraméterek helyes megválasztásával sikerült megvalósítani.

*Az alap kutatás és a fejlesztő/alkalmazott kutatás egy kissé más filozófiát követ. (Az egyikben lehet kicsit szabadabban csapongani, a másikban az elérendő célt sokkal szigorúbban kell szem előtt tartani.) Te párhuzamosan mindkettőt végzed. Nem okoz ez olykor problémát a munkádban?*

Nem érzem problémának, hogy ezekkel párhuzamosan kell foglalkoznom. Talán annyiban, hogy az egyik közelebb áll hozzám a másiknál. Az alap kutatás esetében onnan kell elindulni, hogy helyes kérdéseket tegyünk fel, és azokra helyesen keressük a választ. Ugyanakkor nem köti annyira az ember kezét egy jól meghatározott cél. Ha valami nem várt, izgalmas eredményt kapunk, akkor nyitottnak kell lenni arra, hogy a kutatásokat új irányba folytassuk, feladva ezzel akár a korábbi célokat. Az alkalmazott kutatások esetében az első lépést már sokszor meghatározzák az ipari igények, és nagyon konkrétan le van fektetve, hogy hova is kellene elérni a munka végére. Ha a megbízó piros háromszöget kér tőlünk, akkor nekünk hiába sikerül gyönyörű lila négyzeteket készíteni, senkit nem fog érdekelni, hacsak azok nem váltják ki tökéletesen vagy jobban az eredetileg várt terméket.

Elég gyakorlatias ember vagyok, így az utóbbi kutatások sokkal közelebb állnak a szívemhez.

*Értem és megértem az álláspontodat, hogy a fejlesztés áll a szívedhez közelebb, de nem hiszem, hogy a fejlesztőkutatásoknak lehetne csak jövője, szerintem az értékteremtés a kulcsa minden fajta kutatásnak, és nem gondolom, hogy a kutatások előbbi csoportosításának lejárt volna az ideje. Nem gondolom, hogy az egyiket a másik rovására kellene elismerni vagy kiemelten támogatni; ez sohasem vezetett jóra. De most nem ez a beszélgetésünk témája, bár ma ismét a kutatásfinanszírozás alapkérdésévé vált, így minden kutatót foglalkoztat.*

Egyetemi dolgozóként, úgy vélem, egyik vonalat sem lehet teljesen feladni, mivel az alap- és a fejlesztőkutatások együtt járnak. Talán időszakosan egyik vagy másik erősebben határozza meg az én munkámat is, de semmiképpen nem érzem, hogy ezek zavarának egymást.

*Egyetemen dolgozol. Ott fő tevékenység, a kutatásnál is fontosabb az oktatás, a már megszerzett ismeretek átadása. Mennyire veszel részt az oktatásban és mennyire vált az oktatás mindennapi tevékenységed részévé?*

Több mint tíz éve veszek részt az oktatásban, ami eleinte főleg a laborgyakorlatok tartásában merült ki. Azt hiszem, nincs az országnak olyan szeglete, ahol a Szegeden képzett, kémiával foglalkozó emberek ne kapnák fel a fejüket Halász, Kiricsi és Hanus tanár urak neve hallatán, akik sajnos már itt hagytak minket, s ezzel az oktatott tantárgyak átvétele is a fiatalabb generáció feladata lett. Azt vettem észre, hogy a gyakorlatias, ipari kutatások mellett a tanításban találtam meg leginkább a feladatomat. Most már több éve oktatom a kémiai és a környezetvédelmi technológiai kurzusokat, amelyek anyagát az elmúlt években fel



is újítottam, és eddig nagyon pozitív visszajelzéseket kaptam a hallgatóktól.

Ezzel párhuzamosan én szervezem a kémia szakos hallgatók üzemlátogatását is, ami így már nagyon kerek oktatási feladat, és jól ötvözi az ipari kémiát és a tudás átadását. Mint minden más területen, itt is nagyon fontosnak tartom a folyamatos kommunikációt, a hallgató-oktató kapcsolat fenntartását. El is várom a hallgatóktól, hogy visszajelzést kapjak a leadott anyag minőségéről, a hibákról, igényekről, mert szerintem így lehet fokozatosan eljutni a minőségi oktatáshoz. A laborgyakorlatok is maradtak, a mikroszkópiagyakorlatot például már 12. éve tartom a molekuláris bionika szakos hallgatóknak. A vegyészmérnök-oktatás elindításával pedig úgy látom, hogy ezeknek a feladatoknak a száma még növekedni fog, ami egyáltalán nem ijeszt meg. Az oktatás így annyira a napi rutinom része lett, hogy alig van olyan napom, amikor legalább egy gyakorlatot vagy kurzust ne kellene tartanom.

*Szeged, egyetem, tanszék. Hogy érzed magad?*

2002 augusztusában költöztem Szegedre, azóta itt is élek, és ha azt vesszük alapul, hogy hol töltöttem el eddigi életemből a legtöbb időt, tavaly szeptember óta már hivatalosan is szegedinek mondhatom magam. Első pillantásra beleszerettem Szegedbe és abba, hogy az egyetem szerves része a városnak, nem különült kampusz, mint például Miskolcon vagy Veszprémben. Borsodi emberként talán a hegyek hiányoznak a legjobban, és a nagy meleggel a mai napig küzdök, de ezek csak apróságok. A tanszékre 2005-ben kerültem hallgatóként: Halász tanár úr javaslatára Kónya Zoltán és Kukovecz Ákos akkoriban épülő kutatócsoportjába, és ott is maradtam a mai napig. Szerencsésnek mondhatom magam, hogy átélhettem azt a hosszadalmas folyamatot, amelyet ők nagyon komoly munkával vittek végig. Emlékszem, amikor még mátrixpapírra nyomtatott UV-spektrumokat szkenneltem be és alakítottam át adatsorrá, hogy végül elfogadhatóan jeleníthessem meg a mérési eredményeket, most pedig aligha van olyan anyag-tudománnyal kapcsolatos mérési feladat, amit valamilyen módon ne tudnánk ellátni, sőt olyan műszereink is vannak, amelyek az



országban csak nálunk fordulnak elő. Mindez végtelenül inspirált, mindig nagyon lelkes voltam, amikor valami új műszer érkezett hozzánk. Ez a környezet és a tanszékünk igazán egyedi hangulata alapvetően meghatározta a munkámat és az életemet. Nagyon jól érzem itt magam.

*Hobby, szabadidő (amennyi van) – mivel töltöd?*

Rövidebb szabadidőmben a napi aktualitásokat olvasgatom. Amolyan igazi szörfözős vagyok a neten. Egy hírből kiindulva nem ritkán 10–15 újabb ablakot nyitok meg. Szeretek alaposan utánaolvasni mindennek, így egy használatú hirdetésből pár lépés alatt el tudok jutni a Capri-szigeten őshonos kék gyíkig. Emellett kosárlabda-játékvezetőként tevékenykedem. Fiatalkoromban magam is űztem a sportot, 2017-ben pedig játékvezetői vizsgát tettem. Azóta megyei szinten sportbíráskodom, már amennyire időm engedi. Ez komoly kikapcsolódás, mert alapvetően más tevékenységet jelent a hétköznapi munkám és a családi teendők mellett. Teljes koncentrációt igényel, így más dolgokat kizárva erre szabadidős tevékenységként tekintek, és nem mellékesen segít fittnek maradni. Kikapcsolódást jelent még a sütés-főzés.

*A konyhában vagy a szabadban?*

Otthon főleg hétvégén veszem be a konyhát, amikor nem kell sitte összedobni egy vacsorát, hanem van idő a konyhaművészkedésre, de ugyanúgy szeretek a szabadban is ételt készíteni. Ilyenkor minél többeket tudok „etetni”, annál nagyobb kihívás, és ha jól sikerül, akkor elismerés.

*Egy családostól, két óvodás korú gyermekkel, milyen örömei érnek és milyen gondok foglalkoztatnak ma?*

A gondokat igyekszem csírájában, így a lehető legkevesebb időráfordítással megoldani, igaz, ez nem kevés energiát emészt fel. Szeretek inkább az örömeire koncentrálni, mert azokból nyer igazán energiát az ember: a gyermekeim nem kevés feladattal látnak el, de nekem igazi boldogság ezeket teljesíteni. Amíg kisebbek voltak, Tímea, csodás feleségem látta el a családi teendők nagy részét. Aztán ahogy a gyerekek cseperedtek, egyre nehezebb volt ellenállni annak, hogy a „majd otthon befejezem” munkát félbeszakító, másik szobából átszűrődő „Apa mit csinál?” kérdésre ne azonnal pattanjak és inkább a gyerekekkel legyek. Mert akármekkora közhely is, tényleg pillanatok alatt felnőnek. És ők aztán bőven ellátnak örömeikkel. Szerencsésnek érzem magam, mivel egy fiam, Dávid és egy lányom, Gabriella is született, így megélhetem a legtöbb kihívás minden perspektíváját. Persze az ő jövőjükön lehetne nap mint nap aggodalmaskodni, de ez olyan dolog, ami szerintem csak elrontja a pillanatot. Egy darabig lehet és kell is előre tervezni, de egy bizonyos szint után ez már csak elhomályosítja azt, aminek a jelenben kellene örülnünk... csak hogy valami bölcselkedéssel fejezzem be.

*Ez a beszélgetés is megerősítette azt a hitemet, hogy vannak a szegedi Kémiai Intézetben rátermett fiatalok, akik a generációváltást meg tudják valósítani, csak úgy látom és tapasztaltam is, elég foghíjas az utánpótlási lánc, ami nem teszi könnyűvé a problémamentes fejlődést.*

*Ezt nem Kozma Gábor oldhatja meg, még csak nem is az SZTE, mert sokkal átfogóbb, kormányzati intézkedéseket igényel. Köszönöm a beszélgetést, kívánok beszélgetőpartneremnek további szakmai kihívásokat és sikereket pályáján.*

Kiss Tamás

# Az állandó tanulás kulcsfontosságú

## Beszélgetés Timári Géza tudományos tanácsadóval

*Életműve és a gyógyszeripari kutatás-fejlesztés terén elért kiemelkedő munkássága alapján idén Dr. Timári Géza, az EUROAPI tudományos tanácsadója kapta a Hermecz István-díjat. Büszkeségeiről, terveiről és tanácsairól kérdeztük.*

*Mi okozta a legnagyobb kihívást a kutatói munkája során?*

1998-ban kerültem a Sanofi-Chinoinhoz, és a következő évben indult – Magyarországon először – a vállalatnál egy originális gyógyszerkutatási program. A molekuláris célpont az adenosin A3 receptor volt, aminek gátlása az asztma és a COPD nevezetű légúti betegség kezelésében lehet hatásos. A kutatás első fázisában az országban először alkalmaztuk az ún. nagy átérésztőképességű szűrővizsgálatot a vezérmolekula kiválasztására. Ennek a programnak lettem a kémiai koordinátora és a fázis 1 vizsgálatokig (kb. 6 év) végigkövethettem a szerteágazó kémiai tevékenységet.

*Különbéle munkáid közül melyik feladat/projekt adott okot számodra a legnagyobb büszkeségre?*

Az említett A3-programhoz kapcsolódik, mégpedig ahhoz a szakaszhoz, amikor a fejlesztés eljut egy olyan fázisba, mely során a részletes farmakokinetikai és metabolizmusvizsgálatok nélkülözhetetlen adatokat szolgáltatnak a gyógyszerjelölt legelőnyösebb terápiás alkalmazásának megvalósításához. A vizsgálatok jelentős részét radioaktív izotóppal (trícium,  $^{14}\text{C}$ ) jelzett vegyülettel végezzük. Az izotóppal jelzett hatóanyagot erre a feladatra szakosodott vegyészek állítják elő. A Sanofiban francia kollégák rendelkeztek ilyen engedéllyel, és náluk másfél évig tartottak a hasonló munkák. Ez érhető, mert a szintézisút általában jelentősen eltér a nem jelzett hatóanyag előállítására használt módszertől. Feladatul kaptuk, hogy az eredeti molekulához hasonló tulajdonságú izotóppal jelzett vegyületet állítsunk elő, lehetőleg 3-4 hónap alatt. A Szegedi Biológiai Kutatóközpont kutatóival közösen olyan 125-ös tömegszámú jódizotópot tartalmazó molekulát szintetizáltunk 2 hónap alatt, amely a követelményeknek megfelelt. Ezt az eljárást szabadalommal védtük, és a következő projektekben már rutineljárásként alkalmazták.

*A díj átvételekor említetted, hogy téged Hermecz István hívott annak idején a Chinoinba dolgozni. Elmesélnéd részletesen a történetet?*

1995-ben jöttem haza egy közel két éves svájci és németországi tanulmányútról, és szomorúan tapasztaltam, hogy az akadémiai kutatóintézetek finanszírozása tovább romlott. Ekkor kerültünk kapcsolatba Hermecz Istvánnal, aki a Sanofi-Chinoin kémiai kutatását vezette. A közös kutatás eredményeként több szabadalom és publikáció született. A következő évben Hermecz doktor felajánlotta, hogy több kollégával együtt szívesen látna bennünket a munkatársaként. 1998-ban csatlakoztam a vállalat kémiai kutatási részlegéhez. A sors érdekessége, hogy ekkor már különvált a kutatás és a preklinikai fejlesztés, aminek Hermecz István volt a vezetője. Amikor az A3-projekt a preklinikai fázisba jutott, újra szoros szakmai kapcsolatba kerültünk.



**Timári Géza (középen) a Hermecz István-díj átvétele után Diószegi Zsuzsannával, az EUROAPI Hungary Kft. ügyvezető igazgatójával és Szalay Péter professzorral, az MKE elnökével**

*Jelenleg melyek azok a kutatási témák, amelyek a leginkább foglalkoztatnak?*

Komoly laboratóriumi munkát igénylő tevékenységet már nem tervezek. Korábban az ELTE kémia doktori iskolájában 16 évig tanítottam, és az egyik óra végén egy hallgató megkérdezte, hogy ma miért nem volt sztori. A vizsgákon is előjött, hogy amelyik szintézishez vagy reakcióhoz volt valami érdekes történet, azt sokkal jobban tudták a hallgatók. Arra gondoltam, hogy ezeket a történeteket a kémiával összekötve közérthetően, szórakoztató írásos formában összegyűjtöm.

*Mi az, amit a jövő szakembereinek a szakma és a tudomány szeretetéről jó tanácsként, „útravalóként” mondanál?*

Az egyik legfontosabb tanács az lenne, hogy mindig tartsák életben a kíváncsiságukat és az érdeklődésüket a szakma és a tudomány iránt. Ne elégedjenek meg azzal, amit már tudnak, hanem folyamatosan keresgéljenek új információk és ötletek után. Az állandó tanulás és fejlődés kulcsfontosságú a szakmai siker és az innováció szempontjából. Emellett pedig mindig tartsák tiszteltben a szakma és a tudomány intézményeit, valamint azok elődjait és hagyományait, mert a múltbeli tapasztalatok nagy segítséget jelenthetnek a jövőbeli eredmények elérésében.

**Gábris Bernadette, Sárközi Melinda**



Helyi Rudolf

info@vegigyar.hu

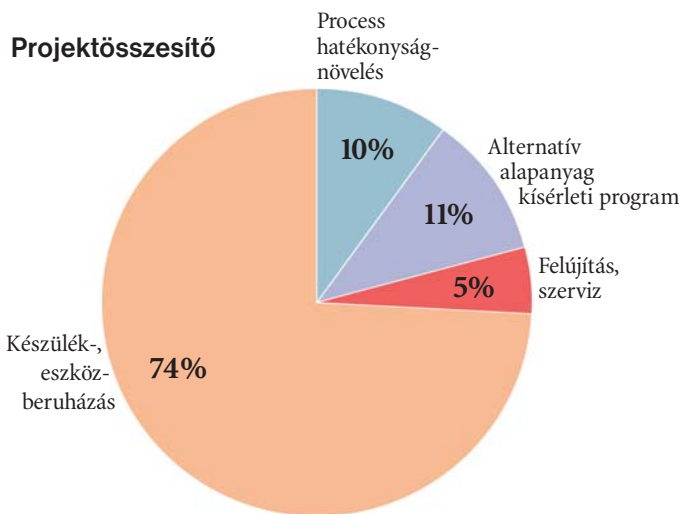
# A Vegyi Gyár Kft. Problémamegoldás a vegyiparban

**VEGYI  
GYÁR**

**B**iatorbágyon alakult meg a vegyipar új szereplője, a Vegyi Gyár Kft. A vállalkozás fő tevékenysége a lean és projektmenedzsment-alapú vegyiparikészülék-értékesítés, valamint a műszaki, mérnöki tevékenység. Az üzleti tervezés 2020-ban kezdődött, majd 2022-ben elkészült a Vegyi Gyár landing-oldala. Egy év tervezés és adatgyűjtés után, 2023 nyarán megalakult a gazdasági szervezet.

Az indulás óta közel húsz projekten dolgozott a cég, amelyek során nagyságrendileg 100 db eszközt ajánlott ki.

## Projektösszesítő



A vállalkozás indításának célja, hogy a Magyarországon létesített vegyipari vállalatokat közvetlenül vagy közvetett módon a legmegfelelőbb készülékekkel és szolgáltatásokkal lássa el, biztosítva ezzel a folyamatos üzemmenetet. A cég erőssége, hogy lean és haladó projektmenedzsment-módszerekkel, rugalmas fiatalossággal és alázatosan alkalmazkodik a vevői igényekhez.

Az a tapasztalat, hogy a megrendelőknek a mindennapi operatív feladatok mellett egy adott akadály esetén nem jut elegendő idejük a belső folyamatok feltérképezésére annak érdekében, hogy teljesen megértsék a gyökérokot. Emiatt számos esetben a projekt kezdetén a cél és a tartalmi behatárolás nem helyes feltételezésre épül. A Vegyi Gyár Kft. ezért előnyben részesíti a konzultatív értékesítést, ami segít a megrendelőknek a valódi problémák azonosításában és a megfelelő megoldások kialakításában.

A kínált értékajánlatot a logisztikában is használatos 7M-elv alapján határozták meg, tehát a megfelelő termék és/vagy szolgáltatás a megfelelő minőségben és mennyiségben, a megfelelő

helyre és költséggel, valamint információval ellátva kerüljön a megfelelő vevőhöz.

## Készülékek és berendezések

Szűrők, elválasztóberendezések  
Keverők  
Lemezes hőcserélők  
Tömlők, Csatlakozók  
Műszerek  
Csőszerelési alapanyagok, Szerelvények, Mintázók  
Szivattyúk

Ezeket a beszállítóktól beérkező javaslatok költség- (41%), minőség- (32%) és átfutásiidő- (27%) szempontok alapján értékelik.

## Műszaki tevékenységek

Az elmúlt években a vegyipari beruházások visszaesését tapasztaljuk. Előnyben részesülnek az okos megoldások, szervizelések és felújítások. Erre a jelenségre reagálva a cég műszaki tevékenységekkel bővítette a profilját; ezek a karbantartás, szerviz, telepítés, csőszerelés, bontás.



## Fenntarthatóság

A tulajdonos számára fontos a fenntarthatóság. A szervezet egyik folyamatban levő, legnagyobb projektje egy folyékony halmazállapotú trágyát feldolgozó biogáztermelő technológia behozatala és forgalmazása az ország területén.



Az eljárás szerves hulladékot dolgoz fel, miközben biogázt, hőenergiát és trágyát állít elő. Az egység célja a telephelyek energiafűggségének csökkentése és zöld eredetű energiaforrás növelése. A technológia segítségével a megtakarított költséget az alaptevékenységre lehetallokálni.

### Egyéb szolgáltatások

A Vegyi Gyár Kft. a vegyipari alapanyagok és termeléstámogatás terén is szolgáltatásokat nyújt. A céghez fordulhatunk minőségmenedzsment, termékfejlesztés vagy alternatív alapanyagok felkutatása kapcsán. Emellett támogatást ad a vállalat kísérleti programokhoz és kimérésekhez, ezzel is támogatva partnereit a hatékony működés elérésében.



### Hajtóerő

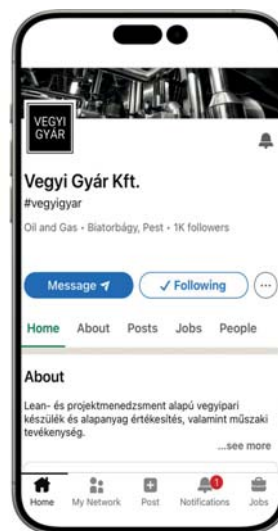
A társaság küldetése, hogy a lean és projektmenedzsment-alapú megközelítéssel forradalmasítsa a vegyipar piacát, ezáltal elősegítve ügyfelei sikereit.

A vállalat elhivatott annak érdekében, hogy a vegyipar meghatározó szereplője legyen. „A mi hajtóerőnk az elismerés és az elégedettség.”



### Online közösségépítés

A vállalkozás nem csupán az üzleti tevékenységére koncentrál, hanem egy vegyipari és rokonági területek közötti networking és benchmarking közösség építésén is dolgozik. Ezen törekvéseik egyik legnagyobb eredménye, hogy LinkedIn oldaluknak már közel 1000 követője van, akik mind a magyar vegyipar kiváló szereplői közé tartoznak.



A LinkedIn-oldalon jellemzően a következő témákban jelennek meg tartalmak: vállalati eredmények, érdekességek, termékek és megoldások, cégek, újdonságok, beruházások és fenntarthatóság. Szavazások és kérdőívek segítségével információkat osztanak meg egymással az iparág szereplői között, ezzel is elősegítve a közösség fejlődését és együttműködését.

Szlogenjük: „Azért dolgozunk, hogy az üzleti partnereinkkel közösen, szakmai kihívással és kreativitással formáljuk a vegyipar jövőjét, miközben egyensúlyi állapotra törekszünk.”



**Olvasnivalót ajánlok.** A mesterséges édesítőszer, úgy látszik, az érdeklődés előterében maradnak vagy a cukoripar félti pozícióit. Most a xilit van soron. A PirulaKalauz legfrissebb cikkét ajánljuk figyelmükbe hiteles információforrásként a témában ([https://pirulakalauz.hu/2024/07/13/a-nyirfacukor-tundoklese-es-bukasa-az-errogkepzodes-kockazata-fokozhatja-a-xilit/?utm\\_source=103780-Nagy%20Lista&utm\\_campaign=](https://pirulakalauz.hu/2024/07/13/a-nyirfacukor-tundoklese-es-bukasa-az-errogkepzodes-kockazata-fokozhatja-a-xilit/?utm_source=103780-Nagy%20Lista&utm_campaign=)). Ebben az esetben is igaz, hogy az édesítőt nagy adagban fogyasztók vannak a kockázatnak elsősorban kitéve.

(KT)



# IgNobel-díjak a Vízöntő jegyében

2023. szeptember 14-én 33. alkalommal adták át a mulatságos tudományos eredményeket elismerő IgNobel-díjakat. A ceremónia sorozatban negyedszer volt online formában, felvétele megtekinthető a YouTube-on

(<https://www.youtube.com/watch?v=P9UQi0ORXv4>).

Az esemény központi témája a víz volt. A 24/7 előadások, amelyek 24 másodpercig tartottak, majd hétszavas, közérthető összefoglaló zárta le őket, ezúttal ennek a kémiai szempontból rendkívül különleges folyadéknak a tulajdonságairól szóltak a következő címekkel: Víz az emberi szervezetben, Hidrodinamika, Vízen szaladó gekkók, Közepes sűrűségű amorf jég.

Ugyancsak a szokások közé tartozik minden évben egy mini-opera ősbemutatója, amely az egyetlen bemutató is marad a zenetörténelemben. 2023-ban ez „a hol volt, hol nem volt” népmesei kategóriába költözött át, mert voltak ugyan operazeneire emlékeztető, vízzel is kapcsolatos dalok, de ezek nem adtak összefüggő cselekményt. A változás egyik oka az lehetett, hogy a mini-operákban hosszú éveken át főszerepet játszó Maria Ferrante ezúttal nem volt a közreműködők között.

A díjakat a szokások szerint Nobel-díjas tudósok adták át: Frances Arnold (kémia, 2018), Marty Chalfie (kémia, 2008), Peter Doherty (élettan vagy orvostudomány, 1996), Esther Duflo (közgazdaság, 2019), Jerry Friedman (fizika, 1990), Wolfgang Ketterle (fizika, 2001), Eric Maskin (közgazdaságtan, 2007), Ardem Patapoutian (élettan vagy orvostudomány, 2021), Al Roth (közgazdaságtan, 2012), Rich Roberts (élettan vagy orvostudomány, 1993), Barry Sharpless (kémia, 2001 és 2022).

Kémiai díjat az utóbbi időben nagyjából minden második évben adnak ki. 2022-ben nem volt ilyen, s aki 2023-ra számított rá, annak nem kellett csalódnia. A díj hivatalos megnevezése „Kémia és geológia” lett, az elismert eredmény pedig annak a magyarázata, hogy sok tudós miért szeret köveket megnyalni (nemcsak halitkristályokról van szó). A díjazott kutató a lengyel Jan Zalasiewicz, aki eredményeit a *Paleontological Association Newsletter* 2017-es novemberi számában publikálta „Eating Fossils” címmel.

A kilenc további elismert eredmény:

- Irodalom: Chris Moulin, Nicole Bell, Merita Turunen, Arina Baharin és Akira O'Connor annak tanulmányozásáért, hogy mit éreznek az emberek akkor, ha egy szót nagyon-nagyon-nagyon-nagyon-nagyon-nagyon-nagyon sokszor ismételnék meg (*Memory*, 2021, Vol. 29, p. 933).
- Gépészmérnöki tudomány: Te Faye Yap, Zhen Liu, Anoop Rajappan, Trevor Shimokusu és Daniel Preston döglött pókok fogóként való újrahasznosításáért (*Advanced Science*, 2022, Vol. 9, No. 2201174).
- Közegészségügy: Seung-min Park a Stanford-vécé feltalálásáért, amely több különböző analízismódszer együttes alkalmazásával, a helyszínen elemzi az emberi vizelet és széklet összetételét, és az eredményeket az interneten keresztül adatbázisokban is rögzíti (*Nature Biomedical Engineering*, 2020, Vol. 4, p. 624).
- Kommunikáció: María José Torres-Prioris, Diana López-Barroso, Estela Càmara, Sol Fittipaldi, Lucas Sedeño, Agustín



Ibáñez, Marcelo Berthier és Adolfo García olyan emberek mentális folyamatainak vizsgálatáért, akik gyakorlottak a visszafelé beszélésben (*Scientific Reports*, 2020, Vol. 10, No. 10621).

- Orvostudomány: Christine Pham, Bobak Hedayati, Kiana Hashemi, Ella Csuka, Tiana Mamaghani, Margit Juhasz, Jamie Wikenheiser és Natasha Mesinkovska, akik holttesteken végzett vizsgálatokkal döntötték el, hogy egy ember két orrlyukában ugyanolyan számú szőrszál van-e (*International Journal of Dermatology*, 2022, Vol. 61, p. e456).
- Táplálkozástudomány: Homei Miyashita és Hiromi Nakamura annak tanulmányozásáért, hogy az evőpálcikákba és szívószálakba vezetett elektromos áram hogyan változtatja meg az ételek és italok ízét (*Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference*, 2011, No. 34).
- Oktatástudomány: Katy Tam, Cyanea Poon, Victoria Hui, Wijnand van Tilburg, Christy Wong, Vivian Kwong, Gigi Yuen és Christian Chan a diákok és tanárok unalomérzetének részletes tanulmányozásáért (*British Journal of Educational Psychology*, 2020, Vol. 90, p. 124).
- Pszichológia: Stanley Milgram, Leonard Bickman és Lawrence Berkowitz annak kísérleti tanulmányozásáért, hogy az utcai járókelők közül hányan néznek felfelé annak hatására, ha valakit felfelé nézni látnak (*Journal of Personality and Social Psychology*, 1969, Vol. 13, p. 79).
- Fizika: Bieito Fernández Castro, Marian Peña, Enrique Nogueira, Miguel Gilcoto, Esperanza Broullón, Antonio Comesaña, Damien Bouffard, Alberto C. Naveira Garabato és Beatriz Mouriño-Carballido a szardellák szexuális tevékenysége és az óceánvíz keveredése közötti kapcsolat felismeréséért (*Nature Geoscience*, 2022, Vol. 15, p. 287).

2024-ben a díjátadás visszatér a Covid előtti, személyes rendezvényformátumhoz. A helyszín viszont nem lesz a régi: a korábban szokásos, mintegy 1000 fős Sanders Theater helyett az idén szeptember 12-én este a Massachusetts Institute of Technology (MIT) 425 ülőhelyes, népszerű 10–250 előadóterme ad majd otthont a ceremóniának.

Lente Gábor



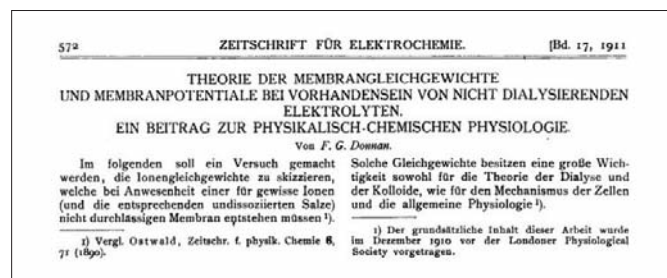
KIRÓL NEVEZTÉK EL?

Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

# Donnan-egyensúly, Donnan-potenciál, Donnan-féle megoszlási hányados

**A** kémiában, a biológiában és az orvostudományban egyaránt fontos membránegyensúlyt Donnan vizsgálta kísérletileg, és írta le 1911-ben (1. ábra) [1].



1. ábra. Donnan membránegyensúlyról szóló 1911-es cikkének első sorai

Ha egy membrán két különböző vizes elektrolitoldatot választ el, a mozgékony ionok koncentrációja idővel kiegyenlítődik. Ha viszont a membrán a két elektrolitoldat (NaR és NaCl) egyik ionját, esetünkben az R<sup>-</sup>-iont nem eresztí át, például azért, mert az túl nagy a membrán pórusméretéhez képest, akkor a membránon átmenni képes ionok (Na<sup>+</sup> és Cl<sup>-</sup>) koncentrációja nem egyenlítődik ki a membrán két oldalán (I és II) (2. ábra), noha termodinamikailag egyensúlyba jut a rendszer [1–4]. Ezt az egyensúlyt hívjuk **Donnan-egyensúlynak**. Az egyensúlyi ionkoncentrációk eltérése miatt potenciálkülönbség lesz a membrán két oldalán. Ezt hívjuk membránpotenciálnak vagy **Donnan-potenciálnak**.

Na <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
R <sup>-</sup>	
Cl <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
I	II

2. ábra. Az ionok egyensúlyi eloszlása a membrán kétoldalán

Mai jelölést alkalmazva azokra a töltött részecskékre (*i*), amelyek képesek a membránon átmenni, az egyensúly feltétele az α és a β fázisokban az elektrokémiai potenciáljuk ( $\tilde{\mu}_i$ ) egyenlősége

$$\tilde{\mu}_i^\alpha = \tilde{\mu}_i^\beta$$

$$\mu_i^\alpha + z_i F \varphi^\alpha = \mu_i^\beta + z_i F \varphi^\beta$$

ahol  $\mu_i$  az *i* ion kémiai potenciálja,  $z_i$  az *i* ion töltése és  $\varphi$  a fázis belső potenciálja.

Mivel  $\mu_i = \mu_i^\alpha + RT \ln a_i$ , ahol  $a_i$  az *i* ion relatív aktivitása (ami híg oldatokban azonos a koncentrációval), *R* a gázállandó és *T* a hőmérséklet, kiszámítható az ionok eloszlása, az ún. **Donnan megoszlási állandó** ( $\lambda$ ), ami az ionaktivitások arányától függ:

$$\left(\frac{a_{K^+}^\alpha / a_{K^+}^\beta}{z_+}\right)^{\frac{1}{z_+}} = \left(\frac{a_A^\alpha / a_A^\beta}{z_-}\right)^{\frac{1}{z_-}}$$

$$\lambda = \left(\frac{a_{K^+}^\alpha / a_{K^+}^\beta}{z_+}\right)^{\frac{1}{z_+}} = \left(\frac{a_A^\alpha / a_A^\beta}{z_-}\right)^{\frac{1}{z_-}}$$

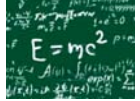
és a **Donnan-potenciál** ( $E_D = \varphi^\beta - \varphi^\alpha$ ) is:

$$E_D = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{K^+}^\beta}{a_{K^+}^\alpha}$$

ahol K<sup>+</sup> a kationt jelöli (természetesen az anionra ugyanilyen összefüggést lehet felírni).

Donnan és munkatársai [5–7], majd más kutatók is bebizonyították, hogy a levezetett összefüggés segítségével a kísérleti eredmények jól értelmezhetők. Loeb könyve [8] terjesztette el Donnan elméletét a kolloid oldatokra, elsősorban a fehérjék tartalmazó rendszerekre. Világossá vált az is, hogy az élő sejtekben is fellépő jelenségről van szó, mert a sejtmembrán nem engedi át a nagy molekulákat, amilyenek a fehérjék és a nukleinsavak. A sejtmembránon keresztül lezajló transzportfolyamatok és a kialakuló potenciál bonyolult jelenségeivel e helyütt nem foglalkozunk. Ugyancsak jelentősek azok a rendszerek (például az ionszelektív elektródok), ahol magán a membránon vannak rögzített töltések (polielektrolit membránok), amelyek az azonos töltésű ionokat nem engedik át.





## Frederick George Donnan



3. ábra. Frederick George Donnan

Frederick George Donnan (Colombo, Ceylon, 1870. szeptember 6. – Canterbury, 1956. december 16.) (3. ábra) édesapja, William Donnan belfasti kereskedő, édesanyja, a szintén észak-ír Jane Ross Turnley Liggate volt. Két fiú és négy lány született a családban, Frederick George másodikiként. Gyermekkori balesetben a bal szemére megvakult. (Ezért is fényképezték így, profilból.) Nem nősült meg. Nővéreivel élt. Leonora vezette a háztartást, Jane a titkárnői teendőket látta el [3, 9].

A Belfast Royal Academyben tanult 1880 és 1889 között, amelyet kitüntetéssel végzett el. A belfasti Queen's College-ban kapta BSc-diplomáját 1894-ben. Itt is kitűnt társai közül, aminek eredményeként külföldre szóló ösztöndíjat kapott. A PhD-fokozatát *magna cum laude* minősítéssel a Lipcsei Egyetemen Wilhelm Ostwaldnál (1853–1932, Nobel-díj: 1909) szerezte meg 1896-ban. Az oldatbeli ionizáció és a fényabszorpció közötti összefüggést vizsgálta, amelyhez egy új típusú kolorimétert is szerkesztett (Donnan-féle koloriméter). A következő két évben van 't Hoffnál (1852–1911, Nobel-díj: 1901) is dolgozott Berlinben.

1899-től lett kutatóhallgató, majd 1901-től tanársegéd a londoni University College-ban William Ramsay (1852–1916, kémiai Nobel-díj: 1904) laboratóriumában.

1903-tól szerves kémiát tanított a dublini Royal College of Science egyetemen (4. ábra), mielőtt 1906-ban a fizikai kémia tanszék vezetője lett a Liverpooli Egyetemen.



4. ábra. A Royal College of Science épülete Dublinban. A természet- és műszaki tudományokkal foglalkozó egyetem 1926-ban beolvadt az University College Dublin egyetembe. Az épületet jelenleg az ír kormányzat használja

1911-ben jelent meg nagy hatása cikke a membránegyensúlyokról és a membránpotenciálról [1]. 1913-ban visszatért a londoni University College-ba, ahol 1928-tól 1937-es nyugdíjazásáig tanszékvezető volt. Az első világháború alatt a hadfelszerelési minisztériumot segítette tanácsadóként. Főleg a növények nitrogénmegkötési folyamatait tanulmányozta. Ebben az időben találta ki az aerosol (aeroszól) szót. A világháborúban kialakított ipari kapcsolatai kiváltképp a Brunner Mond & Co., illetve az ebből alakult Imperial Chemical Industries (ICI) vegyipari céggel később is megmaradtak. Ezek a cégek sokat segítettek az egyetemi kutatások finanszírozásában.

1920-ban a háború alatti tevékenységéért megkapta a Brit Birodalom Rendje parancsnoki fokozatát. Számos elismerése közül kiemelünk néhányat: 1911-ben Fellow of the Royal Society, Davy

Medal: 1928, nyolc díszdoktori cím, nagyszámú tudományos társaság tagsága szerte a világon. Sokat járt külföldön. Németországban gyakorta részt vett a Bunsen Gesellschaft konferenciáin; a társaságnak is tagja volt. Segített, hogy munkájukat veszített, veszélyeztetett német és Németországban dolgozó kutatók külföldre és ott álláshoz jussanak. Néhányan közülük: Franz (Francis) Eugen Simon (1893–1956), Edward Teller (1908–2003), Rudolf Ernst Peierls (1907–1995), Herbert M. F. Freundlich (1880–1941), Heinz London (1907–1970). Simon, Peierls, London a brit–amerikai atombombaprogram meghatározó emberei lettek, később lovaggá (Sir) is ütötték őket. Telleren kívül mindnyájan megkapták a Fellow of the Royal Society (FRS) rangos címet is. Simon doktorandusza volt még Németországban Nicolas Kurti (azaz Kurti Miklós, 1908–1998). Simon 1933-ban magával hozta Oxfordba Londont és Kürtit, akiből később szintén FRS és Sir lett. A pénzt az ICI cég biztosította. 1941 és 1946 között Donnan elnöke volt a Royal Society Scientific Relief Committee-nek; ez a bizottság 1859 óta foglalkozott a tudományos kutatók segélyezésével.

Donnannak sok közös cikke jelent meg más jeles kutatókkal, így például Teller Edével is (5. ábra).

LXXXV. *Fluctuations of Composition in a System of Molecules in Chemical Equilibrium.* By F. G. DONNAN, E. TELLER, and B. TOPLEY \*.

### 1. Introduction

IN discussions on the problem of fluctuations in a system in equilibrium, comparatively little attention has been paid in the past to the case of fluctuations of chemical composition in a system of molecules in chemical equilibrium. An important exception must be made, however, in the case of Professor R. H. Fowler's standard work on 'Statistical Mechanics.' The comparatively simple treatment given in the present paper is restricted to cases where the physical interaction between the molecules is sufficiently small and the state of dilution sufficiently large to allow them to be treated independently, and where the method employed may be that of classical statistics. Concerning the applicability of this method to the present case, some remarks will be made at a later stage.

5. ábra. Donnan Tellerrel és Topley-val írt cikkének – „*Fluctuations of composition in a system of molecules in chemical equilibrium*” – eleje. *Philosophical Magazine* (1937) 24, 981–1001.

Donnan a fizikai kémia nagyon sok problémájával foglalkozott. Kétségtelen, hogy azóta is töretlen hírnevét a membránegyensúlyok termodinamikai leírása és kísérleti bizonyítása alapozta meg, de más jelentős munkái is születtek. Kiemelkedő szakértője volt J. W. Gibbs munkáinak. A membránegyensúlyok elméleti leírásakor is Gibbs alapvetéséből indult ki. Ezért gyakorta beszélnek Gibbs–Donnan-egyensúlyról is. Az viszont egyértelmű, hogy a bizonyító részletes kísérleti eredmények, amelyek azután rendkívül megtermékenyítően hatottak a kémiában, a biológiában, az orvostudományban, egyedül Donnannak köszönhetők.

Néhány terület, amelyeket művelt: nemesgázok effúziója és cseppfolyósítása; olajemulziók, felületi feszültség vizsgálata (ezekért a munkákért a kolloid kémia is számontartja, valamint róla nevezték el a **Donnan-féle sztalagmométert** és a **Donnan-pipettát**).

### IRODALOM

- [1] F. G. Donnan, Membranpotentiale bei vorhandensein von nicht dialysierenden Elektrolyte. Ein Beitrag zur physikalische chemischen Physiologie. Zeitschrift für Elektrochemie (1911) 17, 572–581.
- [2] Kiss L., Láng Gy., Elektrokémia, Sémelweis Kiadó, Budapest, 2011, 99–100.
- [3] Barócsi A., A biofizika alapjai. Typotex Kiadó, Budapest, 2011. 131–134.
- [4] Electrochemical Dictionary (eds. A. J. Bard, G. Inzelt, F. Scholz), 2nd edition, Springer, Heidelberg, 2012, 228–229.
- [5] F. G. Donnan, A. B. Harris, Osmotic pressure and conductivity of aqueous solutions Congo red and reversible membrane equilibria. Journal of the Chemical Society (1911) 99, 1554–1577.
- [6] F. G. Donnan, The theory of membrane equilibrium in the presence of a non-dialyzable electrolyte. Zeitschrift für Elektrochemie (1911) 17, 572–581.
- [7] F. G. Donnan, 1924. The theory of membrane equilibria. Chemical Review (1924) 1, 73–90.
- [8] J. Loeb, Proteins and the theory of colloidal behaviour. McGraw-Hill, New York, 1922.
- [9] E. A. Freeth, Frederick George Donnan. 1870–1956. Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society (1957) 3, 23–26.



TÚL A KÉMIÁN

## Az eltűnt Nílus nyomában



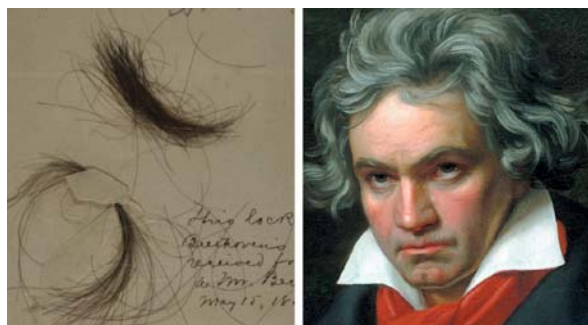
Az egyiptomi piramisok jelentős része a mai Gíza és List települések között húzott vonalon fekszik, a Nílus mostani medrétől több kilométerre. A régészek már régóta gyanítják, hogy a monumentális építkezéseknél a vízi szállításnak döntő szerepe lehetett, és a közelben rég kiszáradt kikötőmólókat is találtak. A legújabb műholdfelvételek és más, korábról ismert geológiai adatok, illetve talajminták segítségével sikerült tisztázni, hogy az ókorban a Gíza–List vonalon egy jelentős folyó medre volt, amely a piramisok arab neve után az Ahramat-ág nevet kapta. Ez nem feltétlenül a Nílus egyik elágazásánál indult, akár önálló mellékfolyó is lehetett. Elhelyezkedésének pontos ismerete sokat segíthet abban, hogy hol érdemes további ókori maradványok után kutatni.

*Commun. Earth Environ. 5, 233. (2024)*

## Beethoven hajanalízise

Ludwig van Beethoven (1770–1827) folyamatos egészségügyi problémáktól szenvedett, amelyeken korának orvosai semmit sem tudtak segíteni. Egyszer egy barátját még arra is megkérte, hogy legalább halála után derítse majd ki valaki, hogy mi baja volt. A hajanalízis-eredmények már az elmúlt években is nagy ólomtartalmat mutattak ki a Beethovennek tulajdonított mintákban, de ezekről a genetikai elemzés azt derítette ki, hogy legalább egy részük valójában nőtől származott. A közelmúltban sikerült Beethoven teljes genomját szekvenálni, így azt is meg lehetett állapítani, melyik hajminta származik valóban a korszakos zeneszerzőtől. Ezekben az ólom, arzén és higany mennyiségét újra meghatározták. Az ólom koncentrációja nagyobb volt annál, amit ma egészségesnek fogadnak el. Az adatok arra utalnak, hogy Beethoven halálának oka ugyan nem közvetlen ólommérgezés volt, de a fém jelenléte folyamatos tüneteket okozhatott, nagyjából olyanokat, amelyekről a történelmi feljegyzések is beszámolnak.

*Clin. Chem. 70, hvae054. (2024)*



## CENTENÁRIUM



I. M. Kolthoff: The volumetric analysis of hydrazine by the iodine, bromate, iodate and permanganate methods *Journal of the American Chemical Society Vol. 46, pp. 2009–2016. (1924. szeptember 1.)*

Izaak Maurits (Piet) Kolthoff (1894–1993) az analitikai kémia alapító atyja volt. Hollandiában született, doktori fokozatot Utrecht egyetemén szerzett, majd 1927-től haláláig az Egyesült Államokban, a University of Minnesotán dolgozott. Sok módszert fejlesztett ki, de iskolatremtőként talán még jelentősebb volt: számos neves kémikus kezdte pályafutását úgy, hogy vele dolgozott együtt. A második világháború alatt a gumigyártás új módszerét is kidolgozta.

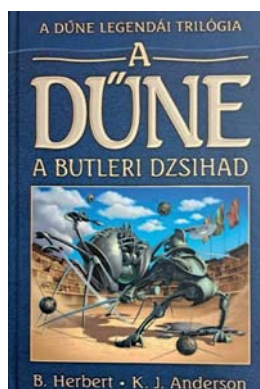
## Aranyszivacs élelmiszeripari hulladékból

A sajt készítés egyik, általában tovább fel nem használt, nagy fehérjetartalmú mellékterméke ideális alapanyagának bizonyult olyan aerogél készítéséhez, amely az aranyionokat rendkívül nagy szelektivitással köti meg vizes oldatból. Az adszorben elkészítéséhez savas kezelésre, majd liofilizálásra volt szükség. A gyakorlati felhasználás demonstrálásához egy kidobott számítógépes alaplapot királyvízben feloldottak, és az így kapott eleygbe beletették az aerogélt. Reduktív kezelés, szárítás, majd a fehérje kiégetése után 91%-os tisztaságú fém arany maradt vissza, amelynek világpiaci értéke mintegy ötvenszerese volt a folyamat teljes költségének.

*Adv. Mater. 36, 2310642. (2024)*



## IDÉZET



„Holtzman már karrierje elején rájött, hogy nem feltétlenül a legnagyobb tudósoknak jutott az elismerés és a megfelelő pénzügyi háttér a kutatásokhoz. Sokkal többet lehetett elérni látványos előadásokkal és hatékony politizálással.” (Brian Herbert – Kevin J. Anderson: *A Dűne. A Butleri Dzsihad*; fordította: Galamb Zoltán)

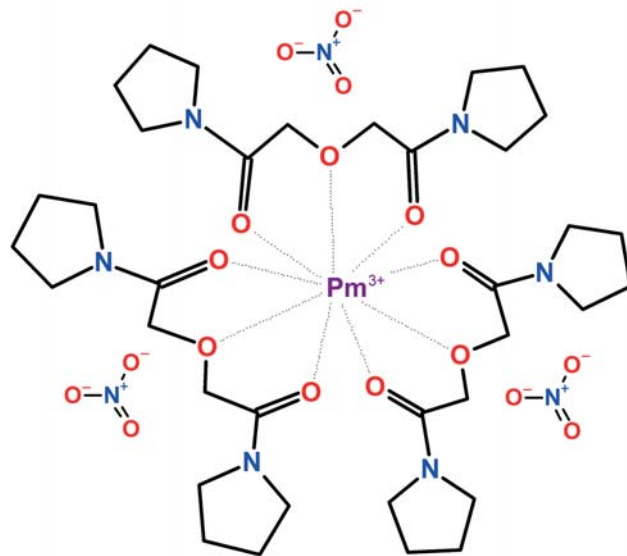
Ha észrevétele vagy ötlete van ehhez a rovathoz, írjon e-mailt Lente Gábor rovatszerkesztőnek: [lenteg1206@gmail.com](mailto:lenteg1206@gmail.com).

A rovatszerkesztő korábbi írásait is tartalmazó blog elérhető a következő internet-oldalon: [http://lenteg.ttk.pte.hu/ScienceBits/index\\_magyar.html](http://lenteg.ttk.pte.hu/ScienceBits/index_magyar.html)



**A HÓNAP MOLEKULÁJA**

Az ábrán látható koordinációs vegyület ( $C_{36}H_{60}N_9O_{18}Pm$ ) különlegesét a központi fémion adja: a prométium nem fordul elő a Földön, csak radioaktív izotópjai ismeretesek, amelyek közül a  $^{145}Pm$  felezési ideje a leghosszabb (szűk 18 év). Az ábrán látható, vízoldható komplex nem ezzel, hanem a mintegy két és fél éves felezési idejű  $^{147}Pm$ -mal készült – mintegy 10 mg-ra volt belőle szükség. A röntgen-abszorpciós módszerrel, közvetlenül oldatban meghatározott Pm–O kötéstávolság fontos új kísérleti adatot jelent a lantanidakontrakció tanulmányozásához. *Nature* 629, 819. (2024)



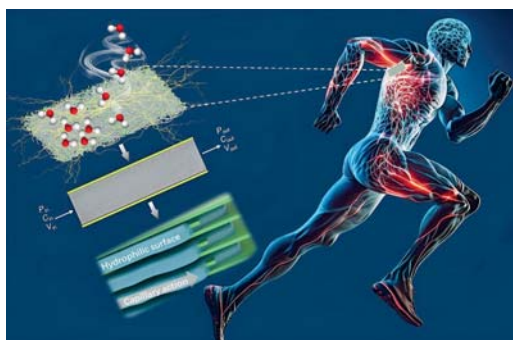
**Oxigéntfogyasztó galvánelemek a vérben**



A szervezetbe ültethető, elektromos áramot igénylő eszközök használatának orvosi szempontból egyik legkellemetlenebb hátránya az elemcsere, amelyhez általában kisebb műtetre van szükség. Ezeknek a beavatkozásoknak a gyakorisága csökkenthető azzal a galvánelemtípussal, amelyben a lezajló kémiai reakció egyik reaktánsa a vérben található oxigén. A patkánykísérletekben kipróbált változat anódja nátrium-gallium-ón ötvözet: itt működés közben nátriumionok kerülnek a testfolyadékokba. A katód nanopórusokat tartalmazó arany, amelyen a vér oxigéntartalma képez vizet és hidrogén-peroxidot. Habár a jelenlegi kiépítés gyakorlati felhasználásra még nem alkalmas, megfelelő fejlesztésekkel ilyen elven a jelenleg használatos elemeknél akár tízszer hosszabb élettartamú eszközök készíthetők majd.

*Chem* 10, 1885. (2024)

**Verejtékelem**

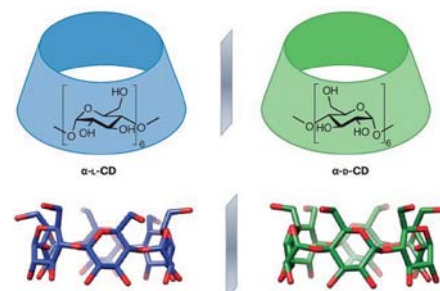


Ha nem is belső, de külső elemként olyan eszközt is lehet használni, amelyben kémiai reakció nem is történik. A csukló- vagy fejpántba építhető hidroelektromos nanogenerátor (HENG) lényege, hogy a bőrről megjelenő izzadság párolgásából állít elő elektromos áramot. Ilyen eszközök ugyan már korábban is készültek, de hatékonyságuk elég csekély volt. Ezen a problémán sikerült úgy segíteni, hogy szerkezeti anyagként a grafénhez hasonló, kétdimenziós szerkezetű titán-alumínium-karbid MX-éneket használtak. A próbakísérletben egy ilyen HENG egy futók által gyakran használt karóratípust tíz perc alatt töltött fel.

*Device* 2, 100356. (2024)

**Tükrözött ciklodextrinek**

A glükózgyűrűkből képzett gyűrűket tartalmazó ciklodextrinek egyre szélesebb körben használják fel a gyakorlatban. Az ilyen molekulák L-cukrokból felépülő tükröképi párjainak az a jelentősége, hogy az enzimek jóval kisebb valószínűséggel bontják le őket, illetve nagyon hasznosak lehetnek enantioszelektív katalizátorok előállításához. Az egyik 2016-os Nobel-díjas, a jelenleg Hongkongban dolgozó J. Fraser Stoddart által vezetett csoport a közelmúltban a 6, 7 és 8 cukoregységet tartalmazó tükröképi ciklodextrinek félgrammos mennyiségeinek előállításáról számolt be. A legfeljebb 8 lépést tartalmazó szintézisutak egyelőre jóval drágábbak, mint a normál származékok esetében, mert enzimatiskus lépéseket egyáltalán nem lehet használni bennük.



*Nat. Synth.* 3, 698. (2024)

**A geométernökség meleg árnyéka**

A geométernöki elképzelések egyik fontos vonulata a földfelszínre elérő napsugárzás intenzitását igyekszik csökkenteni. A jelenleg legnépszerűbb javaslat a szulfáttartalmú aeroszolok légkörbe juttatása. Ennek hatását vizsgálta meg egy részletes modellszámításokon alapuló tanulmány a közelmúltban. Az eredmények egyáltalán nem biztatóak: a trópusi vidékeken, a földfelszín közelében levegőbe juttatott részecskék hatására 15 kilométeres magasság fölött jelentős melegedést tapasztaltak, ami nagy hatással volt az időjárási mintázatokra. Egyes területeken ez önmagában is melegedést okozott, és összességében a káros hatások kockázata hasonló volt a globális felmelegedés miatti kockázathoz.

*Geophys. Res. Lett.* 51, e2023GL107285. (2024)





## Válogatás

Az MTA Kémiai Tudományok Osztálya által kiválasztott aktuális három publikáció közül az elsőben sejt felszíni jelzőfehérje és glikozaminoglikán poliszacharidok kölcsönhatásait vizsgálták. A második közleményben a szerzők a magyar fejlesztésű, LoCoHD-nak nevezett metrikát mutatják be, amely képes a fehérjék szerkezetét a kémiai jelleg figyelembevételével, lokálisan összehasonlítani. A harmadik publikációban a kapszaicinoidok háromlépéses áramlós kémiai szintézisét írják le.

Perczel András

az MTA rendes tagja, osztályelnök

## A Semaphorin-5A glikozaminoglikán kölcsönhatások szerkezeti és funkcionális vizsgálata

Nature Communications, 2024

<https://www.nature.com/articles/s41467-024-46725-7>

Gergely N. Nagy<sup>1,2,3</sup>, Xiao-Feng Zhao<sup>4</sup>, Richard Karlsson<sup>5</sup>, Karen Wang<sup>4</sup>, Ramona Duman<sup>6</sup>, Karl Harlos<sup>1</sup>, Kamel El Omari<sup>6</sup>, Armin Wagner<sup>6</sup>, Henrik Clausen<sup>5</sup>, Rebecca L Miller<sup>5</sup>, Roman J Giger<sup>4,7</sup>, E Yvonne Jones<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Structural Biology, Wellcome Centre for Human Genetics, University of Oxford, UK.

<sup>2</sup>Department of Applied Biotechnology and Food Science, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology, Budapest University of Technology and Economics, Hungary.

<sup>3</sup>Institute of Molecular Life Sciences, HUN-REN Research Centre for Natural Sciences, Budapest, Hungary

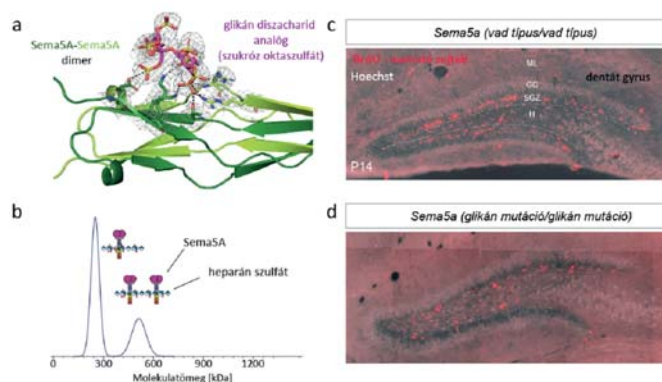
<sup>4</sup>Department of Cell and Developmental Biology, University of Michigan Medical School, Ann Arbor, MI, USA.

<sup>5</sup>Copenhagen Center for Glycomics, Department of Cellular and Molecular Medicine, Faculty of Health Sciences, University of Copenhagen, Denmark

<sup>6</sup>Diamond Light Source, Harwell Science and Innovation Campus, Didcot, UK.

<sup>7</sup>Department of Neurology, Ann Arbor, MI, USA

A szerzők a Sema5A sejt felszíni jelzőfehérje és glikozaminoglikán (GAG) poliszacharidok kölcsönhatásait vizsgálva meghatározták a Sema5A új kovalens dimer foldszerkezetű GAG-kötőhelyét. Oldatbeli és sejt vizsgálatokkal elemezték a kölcsönhatás specificitásának fehérje és glikán molekuláris hátterét, majd igazolták a kölcsönhatás szerepét az egér dentát gyrusának kialakulásában, mely a memória egyik fontos agyi területe. A cikk értelmezi egyes Sema5A-eredetű rendellenességek molekuláris hátterét.



## LoCoHD: metrika lokális környezetek összehasonlítására fehérjékben

Nature Communications, 2024

<https://www.nature.com/articles/s41467-024-48225-0>

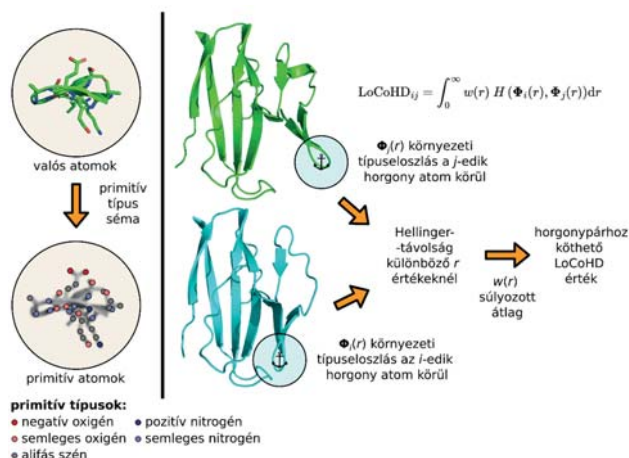
Zsolt Fazekas<sup>1,2</sup>, Dóra K. Menyhárd<sup>1,3</sup>, András Perczel<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Structural Chemistry and Biology, Institute of Chemistry, ELTE Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

<sup>2</sup>ELTE Hevesy György PhD School of Chemistry, ELTE Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

<sup>3</sup>HUN-REN-ELTE Protein Modeling Research Group, ELTE Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

A magyar fejlesztésű, LoCoHD-nak nevezett metrika újszerű megközelítést kínál a fehérjék szerkezetének kémiai alapú összehasonlítására. Több esettanulmány, köztük az AlphaFold2 mesterséges-intelligencia-modell elemzése bizonyítja a módszer hasznosságát. Ez az újítás fontos szerepet játszhat a gyógyszertervezésben és a fehérjék működésével kapcsolatos betegségek kezelésében.



## Kapszaicin és kapszaicinoid analogonok áramlós szintézise

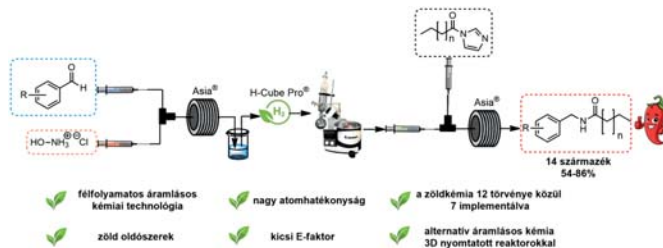
ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2024

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.4c01839>

Máté János Orosz<sup>1</sup>, Bettina Rávai<sup>1</sup>, Béla Mátravölgyi<sup>1</sup>, Erika Bálint<sup>1</sup>

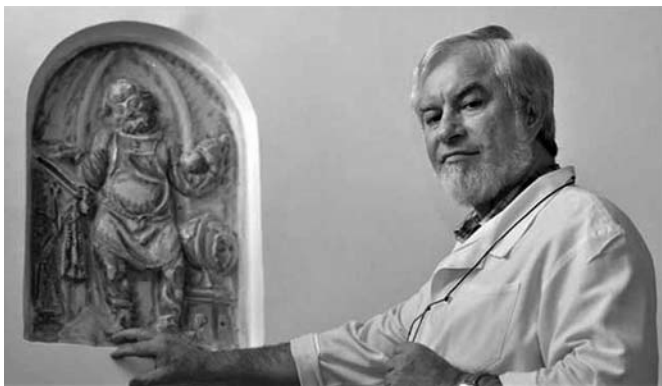
<sup>1</sup>Department of Organic Chemistry and Technology, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology, Budapest University of Technology and Economics, Hungary

A kapszaicinoidok speciális alkaloidok, a csípős paprika csípősségéért felelős vegyületek. Főként a gyógyszer-, élelmiszer- és kozmetikai iparban használják őket. Elsőként dolgoztuk ki kapszaicinoidok háromlépéses áramlásos kémiai szintézisét, mely az irodalomban leírt szakaszos eljárásokhoz képest jóval zöldebb, biztonságosabb, gyorsabb és atomhatékonyabb. Továbbá 3D nyomtatott áramlásos reaktorok alkalmazásával bemutattuk az áramlásos kémia alternatív és olcsóbb lehetőségét.



## PÁLYÁZATI KIÍRÁS

### Hannus István Kémiantanári Díj



1. A Hannus István Kémiantanári Díjat a Magyar Kémikusok Egyesülete Csongrád-Csanád Vármegyei Csoportja (MKE CSMCS) alapította 2024-ben **kiváló általános és középiskolai kémia szakos tanárok munkájának elismerése céljából** a Csoport 2022-ben elhunyt örökös tiszteletbeli elnöke, Prof. Hannus István tanár úr emlékére.
2. A díjat évente egyszer adományozzuk, egy általános iskolai és egy középiskolai kémiantanár számára.
3. A díj egyenként 250 000 forint készpénzből és elismerő oklevélből áll.
4. A díj odaítéléséről az MKE CSMCS vezetősége dönt, titkos szavazással, a helyezési pontszámok összesítése alapján.
5. A díjat az évente megrendezett Kémiai Előadói Napok megnyitó ünnepségén adjuk át, ahol a pályázó életművének rövid ismertetésére is sor kerül.
6. A pályázásra jogosultak köre: magyar állampolgárságú vagy magyar anyanyelvű, a dél-alföldi régióban (Csongrád-Csanád,

Jász-Nagykun-Szolnok, Békés és Bács-Kiskun vármegyék), valamint a régióban a határon túl (Vajdaság, Partium) tevékenykedő, továbbá az SZTE bázisiskoláinak általános és középiskolai kémia szakos tanárai.

7. A díjjal a pályázó kémiantanári kiválóságát (ami nem feltétlenül jelenti az életművét) kívánjuk elismerni.

8. A díjra magyar nyelven írott pályázatot kell benyújtani. A pályázat benyújtási határideje minden év szeptember 30. A pályázatnak tartalmaznia kell a következőket:

- a pályázó szakmai önéletrajzát (max. 2 oldal);
- a pályázó kémiantanári tevékenységének részletes ismertetését (max. 2 oldal);
- a pályázó tehetséggondozásban kifejtett tevékenységének részletes ismertetését (max. 1 oldal);
- a pályázó eredményességének ismertetését a közép- vagy felsőoktatásban, kémia irányban (vegyész, vegyészmérnök, kémiantanár) továbbtanuló általános vagy középiskolás tanítványaitól (max. 1 oldal);
- a kémia oktatásában és népszerűsítésében kifejtett egyéb tevékenységének (pl. előadások, írásművek, versenyek vagy konferenciák szervezése stb.) ismertetését, bemutatását (max. 1 oldal);
- két ajánlást.

9. A díjat a pályázó egy alkalommal nyerheti el. Sikertelen pályázat esetén a pályázatot a következő ciklusban újra benyújtható. Nem megfelelő minőségű pályázatok, illetve az anyagi fedezet esetleges hiánya miatt az MKE CSMCS fenntartja a jogot arra, hogy a díjat ne ítélje oda, illetve ne írja ki.

10. A pályázatot postán kérjük benyújtani a Magyar Kémikusok Egyesülete Csongrád-Csanád Vármegyei Csoportja mindenkori elnökének címezve (jelenleg Prof. Sipos Pál, SZTE Molekuláris és Analitika Kémia Tanszék, 6720 Szeged, Dóm tér 7.). Érdeklődni a [sipos@chem.u-szeged.hu](mailto:sipos@chem.u-szeged.hu) e-mail-címen lehet.

## Formabontó új épület szimbolizálja a Richter nemzetközi sikereit

### Új korszakot nyit a Richter Központ a hazai székhelyű globális gyógyszerceg életében

Ikonikus külsejével, alkalmazott technológiáival és fenntarthatósági megoldásaival a Richter Gedeon Nyrt. nemzetközi rangját hűen tükröző új központi irodaházból irányítják mostantól a cég hazai és mintegy 50 országra kiterjedő tevékenységét. A Richter Központot Lantos Csaba energiaügyi miniszter, D. Kovács Róbert Antal kőbányai polgármester, Prof. Dr. Vizi E. Szilveszter, a Richter igazgatóságának elnöke, Orbán Gábor, a cég vezérigazgatója,

Krausz Ferenc Nobel-díjas fizikus és Zoboki Gábor, az épület tervezője adta át ünnepélyes keretek között.

A most megvalósult beruházás új távlatokat nyit a vállalat világszerte dolgozó közel 12 000 kollégája szakmai munkájának irányításában. A Zoboki Építész Iroda által tervezett 17 400 négyzetméter alapterületű, hatemeletes épület egyidejűleg a cég több mint 400 munkatársának nyújt inspiráló és maximális komfortot biztosító munkakörnyezetet. Az építészeti koncepcióban kiemelt szerepet kapott a **funkcionalitás**, azaz a hatékony munkavégzést támogató humánus és ergonomikus belső terek kialakítása, az **innováció**, amely a formavilágban és a modern építészeti technológiákban egyaránt visszaköszön és a **mértéktartás**,



Balról jobbra: Zoboki Gábor Kossuth- és Ybl-díjas magyar építész-mérnök; Orbán Gábor, a Richter Gedeon Nyrt. vezérigazgatója; Lantos Csaba, Energiaügyi Minisztérium, energiaügyi miniszter; Prof. Dr. Vizi E. Szilveszter, a Richter Gedeon Nyrt. elnöke; D. Kovács Róbert Antal, Budapest X. kerületének polgármestere

amely az elegáns, letisztult, egyben időtálló megjelenésben ölt testet.

A közösségi és munkateretek tervezése során nagy hangsúlyt kapott a külső és belső zajforrások tompítása, a belső terek természetes anyaghasználata és színvilága, amely egyaránt támogatja az elmélyült, fókuszálással járó, valamint a közösségi, együttműködést igénylő munkafolyamatokat, ezzel is inspirálva azt az innovatív és világszínvonalú alkotótevékenységet, amely a Richternél zajlik.

A Richter Központ kialakításakor kiemelt figyelmet fordítottak a fenntarthatóságra és a környezettudatosságra. A föld hőjét hasznosító talajszondák biztosítják a téli fűtést és a nyári hűtést, minimálisra csökkentve az épület energiaigényét. Az épületben és környezetében kialakított zöld felületek javítják az épület mikroklímáját és elősegítik a helyi biodiverzitás növelését, a zöld tetőkert pedig – az esővíz összegyűjtésével és hasznosításával – hozzájárul a fenntartható vízgazdálkodáshoz. Az ún. „LEED Gold” minősítés előírásainak megfelelő épület alkalmazott technológiáival, csökkentett ökológiai lábnyomával a jövőbeli építészeti projektek számára is példaként szolgál.

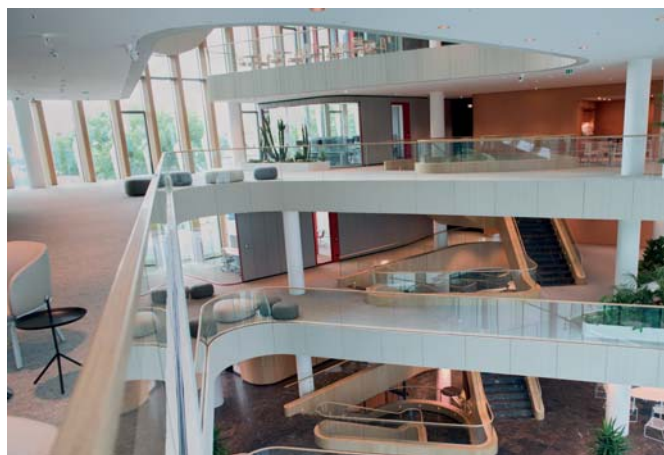
„Egy álom vált ma valóra, hiszen az új Richter Központ tele van pozitív energiával és felemel bennünket. Számomra ez az a hely, ahol a hazai tudás és a gazdasági erő találkozik. Ahol a minőség és a bátorság, a kreativitás és a józanság találkozik. Dísze a Richternek, Kőbányának, Budapestnek, Magyarországnak. És nem utolsósorban méltó szimbóluma lesz egy olyan magyarországi



központú globális vállalatnak, amely mintegy 100 országban jelen van termékeivel és emberek millióinak egészségét és életminőségét szolgálja” – mondta el *Orbán Gábor*, a Richter vezérigazgatója.

*Prof. Dr. Vizi E. Szilveszter*, a Richter Gedeon Nyrt. elnöke köszöntőjében elmondta: „Az, hogy Magyarország tavaly két Nobel-díjast adott a világnak, egyértelmű bizonyítéka annak, hogy a Kárpát-medencében a tehetség jelen van, a kiválóság jól látható. Ez a kiválóság ma itt is megjelenik velünk: nem egyszerűen csak egy új irodaházat adunk át, hanem olyan építészeti alkotást, amely azt az innovációt és azt a világszínvonalat képviseli, amely a vállaltunk működését vagy a Richter készítményeit is jellemzi. Egy olyan épületet, amely a Richter új jelképe lehet, amely munkatársainak, partnereinknek itthon és messze a világban szimbolizálni tudja azt a rendkívüli sikert, amit a Richter a magyar gazdaságban vagy a régió gyógyszeriparában képvisel.”

„Nekem ez a vállalat a folytonosságot és a fejlődést egyszerre jelenti, és büszkék lehetünk erre a cégre és amit a nemzetgazda-





ságnak jelent a tevékenysége. Innováció és erő, talán ez a két szó jellemzi legjobban ennek a cégnek a történetét, hiszen olyan ligában értek el nemzetközi szinten is megkerülhetetlen sikereket, ahol igazán komoly szereplők vannak. Bizonyos iparágakban a versenyképességünk alapfeltétele, hogy legyenek olyan bátor, innovatív cégek, akik biztosítják, hogy európai szinten az élvonalban legyünk. A Richter erre képes, ezt teszi a kutatás-fejlesztés, az innováció egyik hazai zászlóshajójaként. Én miniszterként is biztosíthatom a cég vezetőit, hogy ezen az úton a támogatásomra számíthatnak” – jelentette ki *Lantos Csaba* energiaügyi miniszter, aki a Richter történetéről is, alapítójáról és vezetőiről is beszélt előadásában.

Az eseményen beszédet tartott *D. Kovács Róbert Antal*, Budapest X. kerületének polgármestere is, aki kiemelte: „Amikor beléptem és körülnéztem ebben az irodaépületben, láttam benne a 21. századot, de a folytonosságot is. Nem tornyosul fölém, nem nyom agyon, a földön maradva teremt értéket, ahogy Richter Gedeon is tette. Mégis ösztönöz és innovációra sarkall. Büszke vagyok rá, hogy a Richter, a Richteresekek otthon érzik magukat Kőbányán, és akár egy nagy család tagjai, az Önkormányzattal közösen álmodják, tervezik és építik tovább a várost, ahol kimondhatjuk, hogy jó itt élni és jó itt dolgozni.”

*Krausz Ferenc* Nobel-díjas fizikus elmondta: „Nagy megtiszteltetés számomra itt lenni ma, és szeretnék gratulálni mindenkinek, aki e csodálatos épület megalkotásához hozzájárult. A magyar innováció egyik vezető cége most minden szempontból méltó központba költözhet. Ennek az épületnek az átadása a jövőbe vetett hitet is jelenti arra vonatkozóan, hogy a Richter a következő évtizedekben is több millió ember életét javítva magas minőségű és elérhető árú termékeket biztosítson. Fontos mérföldkő ez a mai nap, sok sikert kívánok a cégnek a jövőben is.”

*Zoboki Gábor* Kossuth- és Ybl-díjas magyar építészmérnök, az épület tervezője a következőket mondta: „A Richterrel már 2004-ben elkezdtünk együtt dolgozni, ahol az alapkonceptió az volt, hogyan tehetjük a környezetet itt élhetőbbé, zöldebbé, környezetbarátabbá. Az, hogy a kutatási központ mellé most felépíthettük a vállalatirányítás központját is, hihetetlen siker számunkra is. Minden alkotónak van ars poetikája: nekünk alapvetően az a fő gondolatunk, hogy megértsük azokat, akik majd használják az adott épületet, és ehhez igazítsuk azt, amit tervezünk. Ez a ház dinamikus, és kifejezi azt a flow-t, amit a Richter is: gyönyörű harmóniát, komplexitást, innovációt és humanitást egyszerre. Ilyen komplex közösségi teret talán a II. világháború óta nem is építettek Magyarországon, mindez pedig közös sikerünk, együtt alakítottuk ezt ki az elmúlt években a Richter vezetőivel, legyünk rá büszkéek.”

## OKTATÁS

### Négy magyar érem a kémiai diákolimpián

Az 56. Nemzetközi Kémiai Diákolimpiát 2024. július 21. és 30. között rendezték Szaúd-Arábia fővárosában, Rijádban. A versenyen 84 ország 327 diákja vett részt. A verseny kizárólag egyéni, így nincs nemzetek közötti vetélkedés jellege. Mind a négy magyar fiatal éremmel térhetett haza: *Éger Viktória Bernadett* és *Viczko Csaba Péter* (mindketten az ELTE Apáczai Csere János Gyakorló-gimnázium diákjai) ezüstérmes, míg *Erdélyi Kata* (Budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium) és *Perényi*



*Attila* (Budapesti Szilágyi Erzsébet Gimnázium) bronzérmes nyertek teljesítményükkel. A csapat kísérői *Zihné Perényi Katalin*, *Varga Szilárd* és *Dudás Ádám* voltak.

A 43 tagú tudományos bizottság elnöke *Magyarfalvi Gábor*, az ELTE Kémiai Intézetének oktatója volt, a munkában a helyszínen vett részt *Enyedy Kata Nóra*, *Ősz Katalin*, *Sánta Zsuzsanna*, *Szalay Zsófia*, *Bolgár Péter*, *Ficsór István Dávid*, *Kapdos Ádám*, *Kóczán György*, *Lente Gábor*, *Sajósi Benedek*, *Szabó Ákos*, *Villányi Attila*.

**Lente Gábor**

## Gólpassz!

### Múzeumok Éjszakája

A Múzeumok Éjszakája 2024. évi tematikája a „Gólpassz” volt, csatlakozva az idei nyár egyik slágereseményéhez, a labdarúgó Európa-bajnoksághoz. A szervezők jól „feladták a labdát”, de azért sikerült a témához kapcsolódó, izgalmas, érdeklődésre számot tartó programot összeállítani.

A Vegyészeti Múzeum ez évben is a Pannon Egyetem Mérnöki Kar kollégáinak a bekapcsolásával állította össze az este kínálatát.

A programok 17.30-tól kezdődtek. Az első programot a múzeum kiállításában két olyan egységre hívta fel a figyelmet, amelyek a „Gólpassz”-hoz nélkülözhetetlen labda előállításának során meghatározóak. Az első a bőrből készült labdák szempontjából érdekes timsógyártás makettje volt, amely többek között a bőrcserzés és a pácolás fontos alapanyagának előállítását mutatja be. A másik egység – a gumi- és műanyag labdák alapanyagát elő-





a fenntartható fejlődés, a környezetvédelmi szempontok mind magasabb szintű elérése érdekében.

A látványos, a jövőnk szempontjából fontos technikai újítások főleg a felnőtt érdeklődők számára kínáltak érdekes alternatívát, míg a látványos kísérletek az ifjúságot is érdekes, tartalmas élménnyel ajándékozták meg.

**Nyári Katalin**



állító – magyar gumi- és műanyaggyártás történetét bemutató sziget volt. Az ismertető után a kisebbek számára egy múzeumi körülmények között összeállított akadálypálya következett, ahol a gyerekek egy kis labdazsonglorködés után rúghatták a kapuba a labdát, amiért természetesen jutalomban részesültek a jövő lehetséges bajnokai.

Ezt követően a Pannon Egyetem munkatársai kerültek sorra. Bemutatóikat a múzeum Zöld termében ismertették. Elsőként Szabóné dr. Bárdos Erzsébet és munkatársa mutatták be egy focista egy napját a kémia varázslatainak segítségével. A látványos kísérletsor színes, szagos, füstölő, hangjelenséggel bíró, szikrázó kísérletekkel varázsolta el az érdeklődőket és mutatta be egy fociszurkoló felkészülését a Stuttgartban játszódó skót–magyar mérkőzésre.

Ezt követte Korim Tamás bemutatója, amely a „Gólpasz a jövőbe”, avagy a hidrogénnel hajtott autó és a lebegő vonat címet kapta. Az érdekes bemutató a jövő technikai újításaiból hozott ízelítőt. Az érdekes téma a közönséget is magával ragadta, a bátrabbak még a szupravezető kerámia működéséhez szükséges cseppfolyós nitrogénbe (–195,8 °C) is belemártották az ujjukat.

A harmadik bemutatót dr. Varga Csilla prezentálta „Pattanj rá!” címmel. Az első részben a labdagyártás történetét, ezen belül is különösen a bajnokságokra gyártott speciális futball-labdák különleges tulajdonságait ismerhettük meg. Majd a labdagyártás, valamint a mezek, sportcipők és egyéb marketingelemek gyártásáról és ezek környezetvédelmi szempontból fontos tulajdonságairól kaptunk tájékoztatást – valamint a gyártók törekvéseiről

## Vegyipari mozaik

**Átadták az első magyarországi nátrium-kén-alapú akkumulátort** a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont csillebéri telephelyén.

Steiner Attila, az Energiaügyi Minisztérium energetikáért és klímapolitikáért felelős államtitkára az átadási rendezvényen kiemelte: az energetikában egyre fontosabb az együttműködés, ezt ösztönözte az a 2021-ben kiírt pályázat, melynek eredménye az első magyarországi nátrium-kén-alapú akkumulátor. Három éve még mintegy 3000 megawatt volt a hazai összes napelemes beépített teljesítmény, és akkoriban még úgy kalkuláltak, hogy 2030-ra éri el a 6 ezer megawattot. De ezt idén elérte az ország, és már 12 ezer megawatt lehet a következő évtized elejére – mondta. Az ország egyes napokon már nap- és atomenergiával képes kielégíteni villamosáram-szükségeit, sőt, időnként még exportra is képes. A megújuló energia terén egyre fontosabb szerepe van a hálózatoknak és az energiatárolásnak. A lítiumos energiatárolás mellett alternatív technológiákra is szükség van, s az egyik lehetőség a nátrium-kén-alapú akkumulátor. Mindennek az ország energiaszuverenitása miatt is nagy a jelentősége. Az ipari energiatároló kapacitások bővítését ezért 62 milliárd forint keretösszegű pályázat segíti

Horváth Ákos, a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont (EK) főigazgatója a rendezvényen elmondta: a megújuló energiák terén új technológiákra van szükség, ezek kutatásában pedig nélkülözhetetlen az együttműködés a kutatóintézetek, egyetemek és ipari partnerek között. Az első magyarországi nátrium-kén-

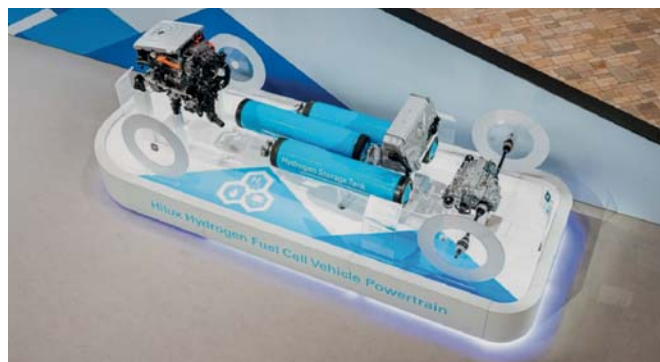




alapú akkumulátor átadását a Magyar Villamos Művek, a HUN-REN Magyar Kutatási Hálózat, illetve a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, a Budapesti Műszaki Egyetem és a Pannon Egyetem, valamint a japán gyártó partner együttműködése, továbbá magyar állami segítség tette lehetővé.

Hartmann Bálint, a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont tudományos főmunkatársa a rendezvényen elmondta: a megújuló energia gyakran nem akkor keletkezik, amikor felhasználási igények jelentkeznek, ezért szükséges a többórás tárolási kapacitás. Többek között emiatt lehet nagy jelentőségű a nátrium-kén-technológián alapuló akkumulátor, amely alacsony fajlagos költségű, más energiatárolókhöz képest viszonylag olcsó anyagokból készül. A szakember hozzátette: mintegy félmilliárd forintos állami támogatást kaptak a 3 éve kezdődött projekthez, az eredmények kiaknázásához azonban még akár két évtizedre is szükség lehet.

A HUN-REN EK közleményében kiemelte, hogy a nátrium-kén (NA-S) akkumulátorok elektródáit folyékony állapotban tartott nátrium és kén alkotja, ezért magas, 290–360 Celsius-fok közötti hőmérsékleten üzemelnek. Előnyük, hogy alkotóelemeik: a kén, a nátrium és az alumínium-oxid – a lítiummal ellentétben – bőségesen rendelkezésre állnak. Jellemzőjük a hosszú, akár 20 éves élettartam és az alacsony karbantartási költség. A technológia iránt egyre több ország érdeklődik, és a felhasználási területek köre is bővül. A japán NGK Insulators Ltd. által gyártott akkumulátor, illetve a svájci Indrivetec AG által készített, hozzá tartozó inverterek februárban érkeztek a kutatóközpont telephelyére, a „KFKI-kampusz”-ra.



Tudományegyetem (SZTE) és a Ganzair Kompresszortechnika Kft. egy uniós támogatással megvalósuló, 1,246 milliárd forint költségvetésű projekt keretében.

Az ioncserélő membránal (PEM) működő vízelektrolizáló berendezések működési elve évtizedek óta ismert. A kisméretű berendezések régóta kereskedelmi forgalomban vannak, a megawattos tartományban működő rendszerek az elmúlt évtizedben jelentek meg, szinte kizárólag egyedi fejlesztésű projekteken. Az ilyen nagyobb teljesítményű rendszereket főként eredetileg más, illetve univerzális célra előgyártott részegységekből állították össze, így hatékonyságuk elmarad az optimálistól, építési folyamatuk lassú és drága, módosításuk nehézkes. Az SZTE és a Ganzair Kft. – 800 millió forint támogatással megvalósuló, két évig tartó projektjében – olyan berendezést fejleszt, amely a közeljövőben jelentkező hidrogénigényre nyújt technológiai megoldást, új távlatot nyit a hazai és az exportpiacokon az energiatárolási fejlesztéseknek, előmozdítja az ipar és közlekedés dekarbonizációját.

Tájékoztatásuk szerint az SZTE-n az utóbbi évtized elektrokémiai kutatásainak fókuszja folyamatosan tolódott az elektrolízis-technológiák gyakorlati alkalmazása irányába. Ez elvezetett a méretnövelés igényéhez, olyan elektrolizáló rendszerek létrehozásához, melyek gazdaságosan üzemeltethetők. Ebben a folyamatban fontos lépés volt a szegedi Science Parkban telepített rendszer. A sorozatgyártásban készülő elektrolizáló berendezésre piaci igény várható a fém- és vegyiparban, a zöld hidrogén üzemanyagként szolgálhat a hosszú tengelytávú járművek, a kamionok és targoncák számára, energiatároló közegként szolgálhat a naperőművek, naplemparkok esetében.

A nagy múltú Ganz-gyárak tradícióinak egyik folytatójaként 1990-ben alapított kiskunhalasi székhelyű Ganzair Kompresszortechnika Kft. a magyar légtechnikai piac vezető szereplője. A vállalkozás kompresszorokat és sűrítettlevegő-kezelő berendezéseket gyárt, és komplett rendszereket is szállít ügyfeleinek, készít kompresszorokat kötőpályás járművekhez, sűrítettföldgáz-töltőállomások számára, és szervizszolgáltatásokat is nyújt. A csaknem száz alkalmazottat foglalkoztató Ganzair Kft. értékesítésből származó nettó árbevétele tavaly meghaladta a 6,085 milliárd forintot, ami több mint 15 százalékos növekedést jelent 2022-höz képest. A vállalkozás forgalmának több mint egyhatoda származik exportból. A cég adózott eredménye 2022-ben 526 millió, tavaly 716 millió forint volt. (<https://www.tisztajovo.hu/megujulo-energiaforrasok/2024/07/11/atadtak-az-első-magyarországi-nátrium-kén-alapú-akkumulátort-a-kfki-ban>)



Az akkumulátor és az inverterek egymással, illetve a telephely villamos és kommunikációs hálózattal való összekötését és üzembe helyezését követően az energiatároló tesztelése júliusban elkezdődött és az év végéig tart. A demonstrációs energiatároló 1,45 megawattóra (MWh) villamos energia tárolását fogja lehetővé tenni, amit különböző piaci szolgáltatásokkal – például frekvenciaszabályozás, illetve peak-shaving (csúcspogyasztás-csökkentés) – tesztelnek majd. A folyamat során szerzett tapasztalatokkal a kutatóközpont szakmailag támogatni tudja a további piaci projekteket, ezzel is elősegítve az ország karbonsemlegességének elérését. (<https://www.tisztajovo.hu/megujulo-energiaforrasok/2024/07/22/zold-hidrogent-eloallito-berendezest-fejleszt-az-szte-es-a-ganzair>)



**Zöld hidrogént előállító berendezést fejleszt az SZTE és a Ganzair.** Sorozatgyártásra alkalmas, 1 MW teljesítményű, zöld hidrogént előállító vízelektrolizáló berendezést fejleszt a Szegedi



**Napelemparkot és biomassza-erőművet tervez a Vajda-Papír.** Energiahatékonysági, környezetvédelmi és károsanyagki-bocsátás-csökkentési intézkedéseket finanszíroz, valamint nap-



elempark és biomassza-erőmű építését tervezi a Vajda-Papír cégcsoport a kormány Gyármentő Programjában elnyert, több mint 10 milliárd forintos támogatásból a következő években.

A Vajda-Papír Kft. beruházása több mint 5,7 milliárd, a Vajda Real Estate Kft. beruházása pedig szintén több mint 5,7 milliárd forint támogatást nyert el. A támogatásokból megvalósuló energiahatékonysági beruházásokkal elérhető a cég célja, hogy 2030-ig 20 százalékkal csökkentse a gyártáshoz és a működéshez kapcsolható vízfogyasztásukat, 50 százalékkal növeljék a megújuló energiák részarányát a cégcsoport telephelyein, valamint csökkentsék a keletkezett hulladék mennyiségét – emelte ki az ügyvezető igazgató. Hozzátette: legfőbb vállalásuk, hogy 2050-re működésük karbonsemlegessé váljon. Vajda Attila alapító-ügyvezető tájékoztatása szerint a magyar termelő vállalatok közül elsőként a Vajda-Papír csatlakozott az SBTi (Science Based Targets Initiative) nemzetközi kezdeményezéshez, amely a vállalatoknak tudományosan alapokon nyugvó kibocsátáscsökkentési célok meghatározásában segít, hogy felgyorsítsák a klímaváltozás elleni küzdelmet.



A Vajda-Papír Kft. a támogatással napelemes kiserőművek telepítését és üzemeltetését tervezi a saját tulajdonú ingatlanok területén. A 29 000 kWp (kilowattpeak) csúcsteljesítményű erőmű termelése a gyártóegységek saját energiaigényének jelentős részét fedezheti, ezzel kiszámíthatóbbá teszi a gazdálkodást és növeli a versenyképességet. A Vajda Real Estate által elnyert támogatás lehetővé teszi olyan biomassza-erőmű megvalósítását, amely a papírgyár technológiájához szükséges ipari gőzt és villamos energiát termel.

Vajda Attila beszámolt arról is: a cégnél az elmúlt 10 évben mintegy 40 milliárd forintot fordítottak arra, hogy a higiéniai papír gyártása és a cég üzemeltetése a legkörnyezetkímélőbb, fenntartható technológiákkal valósulhasson meg. A saját előállítású alapanyag biztosításával a kieső szállítások révén jelentős, évi mintegy 400 ezer liter üzemanyag-megtakarítást értek el. Csökkentették karbonlábnyomukat is, mérsékeltek a működéshez kapcsolható szén-dioxid-kibocsátást és fenntarthatóbb lett a gyártási folyamat, 1 tonna alappapírt akár 26 százalékkal kevesebb villamos energiával és 70 százalékkal kevesebb víz felhasználásával állítanak elő, mint néhány évvel ezelőtt. Évente 140 ezer tonna papírterméket gyárt a cég kifejezetten energaintenzív területen, ezért a tevékenység ökológiai lábnyomának csökkentése az ügyvezető szerint kimondottan nagy felelősség.

A Vajda-Papír 25 éve alakult családi vállalkozásként, csoportszinten mintegy 700 munkavállalót foglalkoztat. A cég 2013 óta Norvégiában is jelen van egy több mint 110 munkavállalót foglalkoztató leányvállalattal. A cég hazai kumulált konszolidált forgalma 2023-ban meghaladta a 88 milliárd forintot, a norvégiai leányvállalat pedig 17 milliárd forintot tett ki. A Vajda-Papír 2024-ben a cég külföldi pozícióinak erősítését és újabb kapacitásnö-

velő beruházást tervez, tovább javítva a cégcsoport közép- és hosszú távú kilátásait. (<https://www.tisztajovo.hu/megujulo-energiaforrasok/2024/07/11/napelemparkot-es-biomassza-eromuve-tervez-a-vajda-papir>)



### Fenntarthatóság és energiahatékonyság az agráripárban.

A feldolgozóüzemek energiaigénye jelentős, különösen akkor, amikor egy üzemben a hűtés, a fűtés, és a HMV (használati meleg víz) egyaránt szükséges. Az ÉLIP-pályázat támogatásával is elérhető innovatív hőszivattyús rendszerek kiváló megoldást nyújtanak, hiszen nemcsak a környezetterhelést csökkentik, hanem jelentősen hozzájárulnak a költség csökkentéséhez.

A hőszivattyú akár 3-4-szer több energiát is képes előállítani, mint amennyit felhasznál. A hőszivattyúk a környezetből nyerik a hőt, így sokkal hatékonyabbak, mint a hagyományos fűtési és hűtési rendszerek. Egy hőszivattyú akár 3-4-szer több energiát képes előállítani, mint amennyit felhasznál – a hatásfoka függvényében.

A hőszivattyúk működése során nem keletkezik helyben károsanyag-kibocsátás, ami hozzájárul a fenntarthatósághoz és a környezetvédelemhez.

Az energiahatékonyságból fakadóan a hőszivattyúk üzemeltetési költsége alacsonyabb, ami hosszú távon jelentős megtakarítást eredményez az ipari vállalatok számára is. A legújabb technológiák olyan környezetbarát hűtőközeget tartalmaznak, melyek GWP-értéke (globális felmelegedési potenciál) rendkívül alacsony. Ez azért fontos, mert ha a hűtésre, a fűtésre, a technológiai hűtésre hűtőkamrákhoz és kereskedelmi hűtési feladatokra ilyen hűtőközeggel működő berendezést használunk, akkor jelentősen csökkenthető az adott üzem, hűtőház, irodablok CO<sub>2</sub>-lábnyoma, ami amellet, hogy a környezetünkre jó hatással van, segítheti a beszállítói, illetve a nemzetközi beszállítói tendereken az elvárások teljesülését.

Hűtés közben rengeteg felesleges energia távozik a hűtendő helyiségekből, amit a meleg víz megtermelésére is fordíthatunk. Érdeemes olyan gépészeti rendszereket építeni, amelyek ezt a hulladékhőt könnyen össze tudják gyűjteni egy tartályban, ami ezt követően felhasználható a szociális blokkokban vagy ha szükséges a technológiához melegvíz, azt is elő lehet melegíteni a hulladék hővel. Szellőztetés esetén a rendszer az elhasznált levegő egy részét a benne rejlő hő felhasználásával előmelegített friss levegővé alakítja. Kompakt hővisszanyerős szellőztetővel és nagy teljesítményű hővisszanyerős légkezelőkkel, kompakt szellőztető és hűtő-fűtő egységekkel (rooftop) gyorsan telepíthető, gazdaságos rendszereket építhetünk ki. Amennyiben hűtésre van szükségünk az üzem területén a téli időszakban, akkor szabad hűtést (free cooling) alkalmazhatunk, amellyel elektromos energia fel-





használása nélkül, szabályozottan tudjuk a terek hűtését megvalósítani.

A hőszivattyúk különböző típusai közül a levegő-víz, víz-víz és földszondás megoldások a legelterjedtebbek az ipari alkalmazásokban. Ezek a rendszerek a környezetből (levegőből, vízből vagy földből) nyerik a hőt, és azt fűtésre vagy hűtésre használják fel. Télen a hőszivattyúk a külső környezetből vonják el a hőt és juttatják be az épületbe, míg nyáron fordítva működnek, azaz a belső térből vonják el a hőt és adják le a környezetnek. A legnépszerűbbek a levegő-víz és levegő-levegő hőszivattyúk, amelyek 5–1500 kW névleges teljesítményben gyakorlatilag minden problémára megoldást kínálnak az üzemek, ipari létesítmények részére. (<https://www.tisztaajovo.hu/megujulo-energiaforrasok/2024/07/27/fenntarthatosag-es-energiahatekonysag-az-agrariparban>)



**Elindult a MOL tiszaujvárosi műanyag hulladék kémiai újrahasznosító üzemének tervezése.** Az első üzem, amely a MOL Petrolkémia tiszaujvárosi telephelyén jön létre, évi 40 000 tonna egyes műanyag hulladék feldolgozási kapacitással rendel-



WILEY-VCH Chemistry Europe  
European Chemical Societies Publishing

**Your research is important and needs to be shared with the world**

Benefit from the Chemistry Europe Open Access Advantage

- Articles published open access have higher readership
- Articles are cited more often than comparable subscription-based articles
- All articles freely available to read, download and share.

Submit your paper today.

[www.chemistry-europe.org](http://www.chemistry-europe.org)

kezik majd, az átalakított nagy értékű vegyipari termékeket és alapanyagokat pedig a MOL petrokkémiai üzemében fogják feldolgozni. Az üzem fejlett üvegházhatású gázok (ÜHG) csökkentésére szolgáló tervezési elemeket is tartalmaz majd, többek között egy teljesen elektromos pirolízisreaktor, amelynek eredményeként az egység normál üzemmódban nulla scope 1 szintű kibocsátással rendelkezik majd. ([www.mol.hu](http://www.mol.hu))

**Dobó Dorina összeállítása**

## MKE-HÍREK

### Az MKE 2024. évi rendezvénynaplója

Dátum	Rendezvény	Helyszín
Október 14–16.	Őszi Radiokémiai Napok	Balatonszárszó
November 14.	Kozmetikai Szimpózium	Budapest
November 26–27.	Hungarocoat Nemzetközi Festékipari Kiállítás és Konferencia	Budapest

#### Hungarocoat Nemzetközi Festékipari Kiállítás és Konferencia

Budapest, 2024. november 26–27.

A rendezvény honlapja és online jelentkezés:

<https://hungarocoat.hu/>

TOVÁBBI INFORMÁCIÓK: Schenker Beatrix,

[beatrix.schenker@mke.org.hu](mailto:beatrix.schenker@mke.org.hu)

## HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL

LXXIX. No. 9. September

CONTENTS

<i>Inquiry-based chemistry education in primary/intermediate schools?</i>	254
<b>LUCA SZALAY, RÉKA BORBÁS, ISTVÁN FÜZESI, and ZOLTÁN TÓTH</b>	
<i>Air transport decarbonisation – a big challenge. Part I. Characteristics of liquid aviation (jet) fuels</i>	261
<b>JENŐ HANCSÓK and FERENC HŐKE</b>	
<i>Pure and applied research go hand in hand. Interview with Gábor Kozma</i>	267
<b>TAMÁS KISS</b>	
<i>Life-long learning in chemistry. Interview with Géza Timári</i>	270
<b>BERNADETTE GÁBRIS and MELINDA SÁRKÖZI</b>	
<i>Introducing Chemical Factory Kft.</i>	271
<b>RUDOLF HELYI</b>	
<i>IgNobel Prizes in the sign of Aquarius</i>	273
<b>GÁBOR LENTE</b>	
<i>Whom is it named after? Donnan equilibrium, Donnan potential and Donnan distribution constant</i>	274
<b>GYÖRGY INZELT</b>	
<i>Chembits</i>	276
<b>GÁBOR LENTE</b>	
<i>Publication of the month</i>	278
<i>News of the month</i>	279

# Megbízható Mennyiségi Meghatározás

Minden komponens, mátrix és felhasználó esetében

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

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



Thermo Scientific™ TSQ Altis™  
hármas kvadrupol tömegspektrométer



Thermo Scientific™ TSQ Quantis™  
hármas kvadrupol tömegspektrométer



Thermo Scientific™ TSQ Fortis™  
hármas kvadrupol tömegspektrométer

További információk:

[thermofisher.com/confidentquantitation](https://thermofisher.com/confidentquantitation)

Kizárólagos képviselő:

**UNICAM Magyarország Kft.**  
1144 Budapest, Kőszeg utca 25.  
Telefon: +36 1 221 5536  
E-mail: [unicam@unicam.hu](mailto:unicam@unicam.hu)  
Web: [www.unicam.hu](http://www.unicam.hu)

**UNICAM**