

A TARTALOMBÓL:

- Tanítható-e a kísérlettervezés az iskolákban?
- Kiról nevezték el?
- Titán-dioxid
- Egy klasszikus tankönyv
- Humor a tudományban



MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA

A MAGYAR KÉMIKUSOK EGYESÜLETE HAVONTA MEGJELENŐ FOLYÓIRATA • LXXVI. ÉVFOLYAM • 2021. JÚLIUS–AUGUSZTUS • ÁRA: 1700 FT



Kutatásalapú kémiatanulás

A kiadvány
a Magyar Tudományos Akadémia
támogatásával készült

nka
Nemzeti Kulturális Alap

A lap megjelenését
a Nemzeti Kulturális Alap
támogatja

ÉLELMISZEREK AUTOMATA GYORSELEMZÉSE

Az európai törvények pontosan meghatározzák az Európai Unióban értékesített élelmiszerek címkéinek tartalmát. Az összetevők felsorolása, valamint a tárolási körülményekre, a származási helyre és a lejáratidőre vonatkozó információk mellett szükséges az összes élelmiszer esetében a tápértéket is megadni.

Az egyik kötelező adat a termék fehérjetartalma. A különféle élelmiszerek fehérjetartalma a rapid MAX N exceed automata analizátorral felügyelet-mentes üzemmódban elemezhető. Néhány mérés eredménye látható a táblázatban. A homogenizált minták fehérjetartalmát és az eredmények szórását öt párhuzamos mérésből számolták.

MINTA	BEMÉRÉS	MÓDSZER	FEHÉRJE-FAKTOR	FEHÉRJE %
főtt sonka 	500 mg	kolbász	6,25	21,1 ± 0,10
sertézsír 	250 mg	felvágott	6,25	3,42 ± 0,25
véreshurka 	450 mg	felvágott	6,25	13,1 ± 0,08
rozsmaringos 	500 mg	növény	6,25	41,6 ± 0,16
jégkrém 	1000 mg	jégkrém	6,38	2,91 ± 0,02
töltött 	500 mg	felvágott	6,25	21,0 ± 0,20
csirkemellfilé 	650 mg	hús	6,25	18,9 ± 0,28
zöldséges burgonya- 	600 mg	gabona	6,25	1,49 ± 0,04
zsemle 	500 mg	gabona	6,25	9,12 ± 0,09



A rapid MAX N exceed analizátor ideális választás a különféle élelmiszer minták fehérjetartalmának rutin meghatározásához. N/fehérje tartalom meghatározás néhány perc alatt, évekig stabil, minta-független kalibrációval, kivételesen alacsony karbantartással, amely lehetővé teszi a magas mintaszám feldolgozást felügyeletmentes automata üzemben, így az ipari minőség-ellenőrzés egyik ideális eszköze. A vonatkozó szabványok által előírt ismételhetőség ill. szórás értékek biztonsággal teljesíthetők. Mintabemérés: 5 mL-es saválló acél tégelyekbe, előcsomagolás szükségessége nélkül, halmazállapot független mérési sorozatokkal. 10 éves kiegészítő garanciák a főegységekre.



elementar

Analysensysteme GmbH.
EXCELLENCE IN ELEMENTS

D 63505 Langenselbold Elementar-Straße 1.
Tel: +49-6184-93930 web: www.elementar.de



AKTIV INSTRUMENT Kft.

ANALITIKAI BERENDEZÉSEK, AUTOMATA ANALIZÁTOROK
1145 Budapest Pétervárad u. 14.
Tel.: (1)-789-2778, Fax: (1)-785-8489
Mail: kozpont@aktivinstrument.hu
web: www.aktivinstrument.hu



A Magyar Kémikusok Egyesületének
– a MTE SZ tagjának –
tudományos ismeretterjesztő
folyóirata és hivatalos lapja

Szerkesztőség:

Felelős szerkesztő: KISS TAMÁS
[SZEKERES GÁBOR] örökös főszerkesztő
Olvasószerkesztő: SILBERER VERA
Tervezőszerkesztő: HORVÁTH IMRE

Szerkesztők:

ANDROSITS BEÁTA, BANAI ENDRE,
LENTE GÁBOR, NAGY GÁBOR,
PAP JÓZSEF SÁNDOR, RITZ FERENC,
ZÉKÁNY ANDRÁS

Szerkesztőségi titkár: SÜLI ERIKA

Szerkesztőbizottság:

SZÉPVÖLGYI JÁNOS,
a szerkesztőbizottság elnöke,
ANTUS SÁNDOR, BIACS PÉTER,
BUZÁS ILONA, HANCSÓK JENŐ,
JANÁKY CSABA, KALÁSZ HUBA,
KEGLEVICH GYÖRGY, KOVÁCS ATTILA,
LIPTAY GYÖRGY, MIZSEY PÉTER,
MÜLLER TIBOR, NEMES ANDRÁS,
ifj. SZÁNTAY CSABA, SZABÓ ILONA,
TÖMPE PÉTER, ZÉKÁNY ANDRÁS

Kapják az Egyesület tagjai és a megrendelőik
A szerkesztésért felel: KISS TAMÁS

Szerkesztőség: 1015 Budapest, Hattyú u. 16.

Tel.: 36-1-225-8777, 36-1-201-6883

Fax: 36-1-201-8056

E-mail: mkl@mke.org.hu

Kiadja a Magyar Kémikusok Egyesülete

Felelős kiadó: ANDROSITS BEÁTA

Nyomdai előkészítés: Planta-2000 Bt.

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 10200 Ft

Egy szám ára: 850 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,

1015 Budapest, Hattyú u. 16.

Tel.: 36-1-201-6883, fax: 36-1-201-8056,

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.2021.07-08

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



Sokan kérték, hogy foglalkozzunk a felsőoktatásban lezajló modellváltás eseményeivel. Sokáig vonakodtam, mert ugyan ez elsősorban szakmai kérdés, de ennek kapcsán nagyon nehéz a politikát nem érinteni, azzal pedig nem szeretnék foglalkozni. A lényeges dolgok gyakorlatilag már eldőlték, a döntések megszülettek. Nem hiszem, hogy tudtunk volna valamit is tenni ellenük. A kormány tavaly nyáron elhatározta felsőoktatási modellváltási terveinek végigvitelét, és azóta felpörgette az eseményeket. Tanúi lehettünk az egyetemi szenátusok „megdolgozásának”, Stumpf István – mint még szavahihetőnek vélt kormányzó – hadba hívásának, majd a szakosok parlamenti szavazási játéknak. Azután jött/jön a fideszes megvalósítás. A kuratóriumok összeállításánál a globalista tudósok nem jöhetnek szóba, csak a nemzeti elkötelezettségűekre lehet bízni ilyen felelős feladatot. Csakhogy a tudomány mindig is nemzetközi volt. Elég csak a mostani kor-

onavírus-járvány legyőzésére kialakult nemzetközi összefogásra gondolnunk, melynek eredményeként Keleten és Nyugaton a tudomány emberei széles körben osztották meg ismereteiket a közös ellenség, a vírus legyőzésére. Ennek eredményeként kevesebb mint egy év után már világszerte oltani kezdték az embereket a vírus elleni vakcinákkal. Bizszék lehetünk arra, hogy ebből a sikerből a magyar–amerikai–német Karikó Katalin biokémikus is alaposan kivette a részét.

A hazai egyetemek meggyőzésekor döntő érv volt, hogy 1500 milliárd forintnyi fejlesztésre számíthatnak, amely ésszerűen csak az új modellben használható fel. Senki sem érti, hogy a felsőoktatási és államigazgatási törvényeknek a felsőoktatás szereplői által évek óta hiába szorgalmazott ésszerűsítése ehhez miért nem volt elegendő. A tervek szerint az egyetemek fejlesztésének fedezetét az EU hihetetlenül nagy, 5800 milliárdos újjáépítési támogatásból biztosították volna. Nemrég derült ki, hogy a kormány a 2500 milliárd vissza nem térítendő támogatáson túl a további, kedvezményes hitel formájában folyósítandó EU-kölcsönt nem kívánja felvenni, és az egyetemi fejlesztések fedezetét majd hazai forrásból biztosítja. Ugyanakkor esély van arra, hogy a gazdaság beindításának szükségletei miatt ezek a források nem fognak rendelkezésre állni. Ennek egyik első jele lehet, hogy az ígért egyetemi bérfejlesztések EU-alapból nem biztosíthatók, így forrásuk egyelőre bizonytalan. Magyarul: a felsőoktatásnak tett eddigi kormányígéretet betartása mostani ismereteink szerint legalábbis kérdéses.

Ehelyett a magyar egyetemek nemzetközi versenyképességét általánosan fejlesztjük, hogy 540 milliárd forintnyi kínai hitelből, teljes kínai kivitelezésben felépíttessük a kínai Fudan Egyetem fővárosi kampuszát. Szakértők kiszámították, hogy az Orbán-kormány a keleti nyitás jegyében eddig 3000 milliárd forintnak megfelelő orosz és kínai hitelt vett fel, amit természetesen majd piaci kamatokkal együtt vissza kell fizetnünk. Ezt az „örökséget” hagyjuk unokáinkra. No meg egy alapítványokba kiszervezett felsőoktatást és gazdaságot. Félő, hogy ezt a terhet a nemzeti felsőoktatásba várt alkotó, kreatív fiatalok nagy része, akikre az ország jövője érdekében leginkább szükségünk lenne, nem vállalja, helyette inkább a külföldi tanulást választja. A 2022. évi választásokon a kormányzati úthengerrel szemben a lábukkal, a külhoni létre szavaznak. Ennek elkerülésében felelős-gyűnk lenne.

2021. július–augusztus

Kiss Tamás
Kiss Tamás
felelős szerkesztő

TARTALOM

KÖZOKTATÁS – TANÁRI FÓRUM

Riedel Miklós, Füzesi István, Rózsahegy Mária, Wajand Judit:

Tanítható-e a kísérlettervezés az iskolákban?

198

KITEKINTÉS

Inzelt György: Kiről neveztek el? Gibbs, Duhem, Lippmann és Helmholtz egyenletei, függvényei

206

Csupor Dezső: Ködpszikál. Feketelistán a titán-dioxid

213

Beck Mihály: Humor a tudományban

214

Braun Tibor: Húsevő növények molekuláris metabolizmusa.

Létfenntartáshoz előállított élelem

219

KÖNYVISMERTETÉS

Keglevich György: Szórakoztató-gondolkodtató kémia

221

(Braun Tibor: A szerelem molekulái)

VEGYIPAR ÉS KÉMIATUDOMÁNY

Vaskó Dorottya, Hirsch Edit, Fehér Csaba: Monoklonális antitestek hagyományos és alternatív tisztítási módszerei

222

JUBILEUM: 75. ÉVES AZ MKL

Kucsman Árpád: Egy klasszikus szerves kémiai tankönyv története.

Megemlékezés a tankönyvíró Bruckner Győzőről (2004)

225

Fogassy Elemér: Néhány gondolat egy klasszikus kapcsán

229

Dékány Imre: Adszorpció és stabilitás organikus bimer elegyekben (1996)

230

Dékány Imre, László Krisztina: Kolloidkémiai iskolák

237

VEGYÉSZLELETEK

Lente Gábor rovata

238

MEGEMLEKÉZÉS

Pokol György: Gál Sándor (1933–2021)

240

A HÓNAP HÍREI

242



Címlapunkon:

„Megvalósítható kutatásalapú kémiatanulás” – a pályázat elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgypedagógiai Kutatási Programja támogatta

Riedel Miklós¹ – Füzesi István² – Rózsahegyi Márta¹ – Wajand Judit¹¹ ELTE Kémiai Intézet, ² ELTE Bolyai János Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, Szombathely

| miklos.riedel@ttk.elte.hu | fuzesi.istvan@sek.elte.hu | marta.rozsahegyi@ttk.elte.hu | wajandj@gmail.com

Tanítható-e a kísérlettervezés az iskolákban?

A kémiaoktatás egyik eleme a tanulói kísérletezés. Ehhez jelenleg főként receptszerű tanulókísérleti leírásokat használnak az iskolákban. A kreatív gondolkodás és az élet azonban megkívánja azt, hogy egy probléma ismeretében a diák maga kísérje meg egy kísérlet megtervezését és ennek alapján annak kivitelezését. Iskolai szinten természetesen csak nagyon egyszerű „kutatási kérdések” megválaszolására lehet korrekten természettudományos vizsgálatokat terveztetni a tanulókkal. Kérdés, hogy tanítható-e mindez.

A kutatásalapú kémiatanulás projektje

A Magyar Tudományos Akadémia 2016-ban négy tanévre szóló pályázatot hirdetett olyan oktatásmódszertani (tantárgy-pedagógiai) kutatások támogatására, amelyeknek célja új, komplex tanítási módszerek tudományos igényű megalapozása, a szükséges oktatási segédletek (e-learning tananyagok, tankönyvek stb.) elkészítése, a kidolgozott módszerek iskolai bevezetése [1]. Kikötés volt mindezek hatékonyságának és eredményességének vizsgálata is.

A bírálóbizottság támogatásra érdemesnek tartotta az ELTE TTK Kémiai Intézetének a „Megvalósítható kutatásalapú kémiatanulás” című pályázatát. A kutatási terv egy korábbi projekt eredményein alapult [2]. Az egyik kérdés az volt, 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. Másrészt fontos-e az, hogy a tanulók el is végezzék az általuk megtervezett kísérleteket abból a célból, hogy a kémiai ismertek elsajátításában és az újabb kísérletek tervezésében sikeresebbek legyenek az ezt el nem végző társaiknál. A projekt vállalásai közé tartozott a tanulókísérleti feladatlapok és a hozzájuk tartozó tanári segédletek elkészítése és nyilvánosságra hozatala is.

A pályázatban felvetett kérdések konkrétan a következők voltak:

1. Milyen reálisan megvalósítható célok tűzhetők ki a kutatásalapú tanulás alkalmazásában?
2. Milyen eredménnyel jár a kémia tanításában a receptszerű tanulókísérletezéssel szemben a kísérletterveztető módszer alkalmazása?
3. Fejlődik-e a tanulók kísérlettervező képessége akkor, ha kísérleteket kell megtervezniük, mielőtt végrehajtanák őket, ill. akkor, ha csak papíron terveznek kísérleteket?
4. Változik-e a tanulók kémia tantárggyal szemben mutatott attitűdje (ténybeli tudása és motivációja), ha megterveznek, illetve ha el is végneznek egyszerű kísérleteket?

Ebben az írásban ismertetjük a módszert, az oktatásmódszertani kutatás lebonyolítását, a feladatlapok kidolgozását, lektorálását, a végeredményre vonatkozó tapasztalatokat. Az elkészült oktatási segédanyagok [3, 4] a későbbi felhasználóknak, továbbá a hasonló gyűjtemények összeállítóinak is hasznosak lehetnek. A projekt tantárgy-pedagógiai tanulságai, a kérdőíves visszajelzések statisztikai feldolgozása a munkáról készült magyar [5] és nemzetközi [6, 7] publikációkban található. Itt csak röviden foglalkozunk a tanulói tesztek eredményeinek és a tanári kérdőíves visszajelzéseknek az elemzésével.

A kutatás megszervezése

A kutatócsoportot a projekt teljes időtartamát tekintve 5 egyetemi oktató, 41 kémiatanár, továbbá 5 kémiatanár-jelölt hallgató alkotta. A projekt vezetője Szalay Luca, az ELTE Kémiaoktatásmódszertani Csoport vezetője volt. A munkában a tanáraink irányításával 18, hat- vagy nyolcosztályos gimnázium 31 osztálya/tanulócsoportja vett részt az egész országból. A tanulók induló létszáma a 2016/2017-es tanévben 920 volt. A diákok a projekt kezdetekor 12–13 évesek (7. osztályosok) voltak, és az eredetileg 4 évre tervezett projekt alatt a 10. osztályig végig tanultak kémiát. Felmenő rendszerben ugyanaz a tanulói minta vett részt a kísérletben, de csak azok teszteredményeit elemeztük, akik az adott időpontig az összes tesztet megírták.

A pedagógiai kísérlet indításakor az osztályokat/tanulócsoportokat véletlenszerűen osztottuk be a három alábbi csoportra, és a projekt végéig ugyanabban a számú csoportban maradtak.

1. csoport (kontrollcsoport). A tanulók csak receptszerűen leírt tanulókísérleteket végeztek el egy-egy megadott témában.

2. csoport. Ugyanazokat a receptszerűen leírt tanulókísérleteket végezték el, mint a kontrollcsoport, de emellett az első évben meg kellett tervezniük egy vagy két, a témához tartozó kísérletet, adott szempontok szerint. A második tanévtől kísérlettervezés helyett magyarázatot kaptak arra, hogy miért úgy kellett megtervezni a kísérleteket, ahogyan azt a recept számukra előírta.

3. csoport. Az 1. és 2. csoporttal azonos kísérletek közül néhányat receptszerű leírás alapján hajtottak végre, a többit pedig a szükséges előzetes tudás birtokában saját maguk tervezték meg, és ennek alapján végezték el. A második tanévtől a kísérlettervezés előtt a feladatlapokon segítő kérdéseket és magyarázatot kaptak a természettudományos vizsgálatok megtervezésének legfontosabb elveiről.

A projekt minden évében 6 (azaz összesen 24) tanulói feladatlap és ehhez tartozó tanári útmutató készült mindhárom válto-



Sorszám	Cím	Téma	Osztály
2.	Hogyan működik a sütőpor?	fizikai és kémiai változások	7.
3.	Oldás és kötés	oldhatóság, oldhatatlanság	7.
5.	Segítsünk Hamupipókének!	keverékek szétválasztása	7.
7.	Jamie Oliver tökéletes salátaöntete	sav-bázis reakciók, mennyiségi elemzés	8.
11.	Nem ettünk meszet!	mészégetés, mészlóttás, a mészkő és a savas eső reakciója	8.
13.	Mire jó még a tűzijáték?	sók lángfestése	9.
17.	Az indikátoroktól az országzászlóig	sav-bázis reakciók, hidrolízis	9.
22.	Megeheted-E?	szerves savak és észterek, E-számok	10.
23.	Mennyi a C-vitamin a narancslében?	titrálás, mérési hibák	10.

1. táblázat. Néhány feladatlap címe és témája

zatban (1. táblázat). Egy feladatlap elvégzésére 1 tanórát szánunk, azaz tanévenként 6 tanórát vett igénybe ezek kitöltése. A diákok a projekt kezdetén a tudásukat felmérő tesztet (0. teszt) és minden egyes tanév végén az eredményességet felmérő tesztet (1. teszt, 2. teszt stb.) töltötték ki, Erre mindig 40 perc állt rendelkezésre.

Feladatlapok

Az első évben öt feladatlapot és a hozzá tartozó tanári útmutatót a kutatócsoport egyetemi oktató tagjai készítették el, ez volt a minta a további évekre. Később a feladatlapokat egyre növekvő arányban a kutatásban részt vevő és erre vállalkozó tanárkollégák írták. Összesen nyolc gyakorló kémia tanár, négy egyetemi oktató és egy végzős kémia tanár-hallgató vett részt az írásos tananyagok elkészítésében. A feladatlapok szerzői Bárány Zsolt Béla, Borbás Réka, Böddiné Schróth Ágnes, Dancsó Éva, Ferenczinyé Molnár Márta, Kiss Edina, Nagyné Hodula Andrea, Riedel Miklós, Rózsahegy Mária, Szalay Luca, Szél Nikolett, Tóthné Tarsoly Zita és Wajand Judit voltak.

Minden tanév kezdete előtt a kutatócsoport kiválasztotta az az évi tananyagból azt a hat témakört, amelyekhez folyamatosan elkészültek a feladatlapok. A kijelölésnél számos szempontot kellett figyelembe venni, ezek közül csak néhányat sorolunk fel:

- *A kémia köznapi, gyakorlati szerepének bemutatása.*
- *A tanulók érdeklődésének felkeltése.* A kémia nem népszerű tantárgy az iskolákban, ezért fontos az érdeklődés felkeltése már a foglalkozás elején. Ezt a célt szolgálja a feladatlapok tartalma mellett azok címe is (1. táblázat).
- *Fontos és nehéznek tartott témakörök is szerepeljenek a feladatok között.*
- *Időbeli korlátok.* Valamennyi feladatlapot 45 perces tanórára kellett tervezni. A kipróbálások azt bizonyították, hogy megfelelő előkészítéssel a feladatok elvégzése általában valóban belefért a tanórába.
- *Baleset- és környezetvédelmi szempontok.* Csak olyan kísérletek szerepelhetnek a feladatlapokon, amelyeket az adott életkorú tanulók a csoportmunkában biztonságosan el tudtak végezni.
- *Egyszerűen kivitelezhető kísérletek legyenek.* Könnyen beszerezhető (a szertárban meglévő vagy a háztartásban fellelhető) eszközöket és anyagokat kelljen használni.

Egy-egy feladatlaphoz átlagosan 20 oldal terjedelmű anyag készült, és a felépítése egységesen a következő:

- *Módszertani útmutató.* A feladatlap eredményes megoldásához

szükséges előismeretek felsorolása, a gyakorlat céljának ismertetése, a tananyag strukturált felsorolása, az aktuális módszertani megfontolások.

- *Technikai segédlet.* A gyakorlatok elvégzéséhez szükséges anyagok és eszközök felsorolása, a gyakorlatot megelőző előkészítési feladatok ismertetése, a balesetvédelem és a hulladékkezelés tennivalói. Gyakran szerepel az anyagokban a tanulók számára előkészített tálca fényképe (1. ábra).

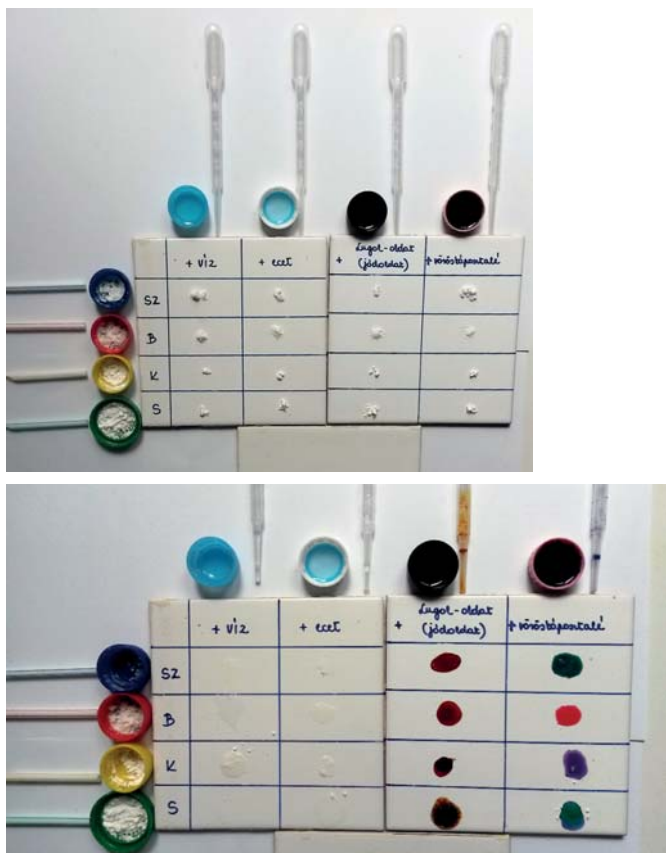


1. ábra. A tanulócsoporthoz előkészített kísérleti eszközök és anyagok tálcaja (11. és 17. feladatlap)

- *Tanulói feladatlapok.* Az adott feladatlap háromféle változata, amelyeket a felhasználó tanárnak az adott óra előtt megfelelő példányszámban ki kellett nyomtatnia. Azért, hogy a sokszorosítás egyszerű és olcsó legyen, a tanulói feladatlap terjedelme általában 1 vagy 2 oldal.
- *Tanári feladatlap.* Itt szerepel a háromféle tanulói feladatlap helyesen kitöltve, továbbá a feladatlap szerzője sok hasznos módszertani tanácsot ad a gyakorlat lebonyolításához. A kísérletek várt eredményei sok esetben fényképpel vannak illusztrálva (2.

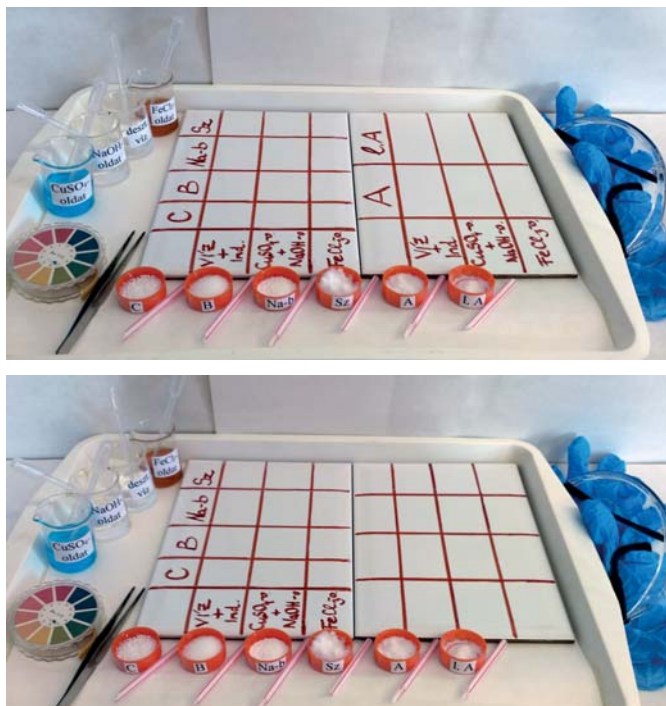


ábra). Az anyag esetenként kiegészítő szakmai ismereteket, érdekességeket is tartalmaz.



2. ábra. Egy előkészített kísérlet és annak elvégzése után kapott eredmények (2. feladatlap)

A kísérlettervezető feladatokra néhány példát a keretes szöveg mutat be. A receptszerű feladatokhoz nem mutatunk példát, mert azok stílusa a praktikumokból, tankönyvekből ismert. A kísérlettervezető feladatlap-változat módosított eszköz-előkészítést, a diákok számára pedig kevesebb direkt megadott információt jelentett (3. ábra). A feladatlapok teljes szövege megtekinthető és letölthető a megadott linken [3].



2. feladatlap. A sütőpor és három összetevője, a szóda-bikarbóna, a borkősav és a keményítő között ránézésre nehéz különbséget tenni. A sütőpor úgy működik, hogy amikor nedvesség éri, akkor szén-dioxid-gáz fejlődik belőle, ami felfújja a sütit. Vajon a sütőpor mely összetevőinek reakciójából keletkezik a szén-dioxid-gáz? Tervezzetek és végezzetek is ennek kiderítésére egy kísérletet.

3. feladatlap. A tálcatokon található anyagok felhasználásával tervezetek meg és hajtsatok végre egy kísérletet, amellyel el tudjátok dönteni, hogy az óraüvegen lévő jód inkább vízoldható vagy inkább zsírolható anyag.

5. feladatlap. Hamupipőke meséjében a gonosz mostoha szándékosan összekeverte a lencsét hamuval és más szeméttel, és abból kellett a szegény kis árvának a lencsét kiválogatnia. Egy még gonoszabb mostoha vasreszeléket (1), réz-szulfátot (2), homokot (3) és mustármagot (4) kevert össze. A galambok helyett Ti segítetek Hamupipőkének szétválasztani a keveréket a megismert vegyészeti szétválasztási módszerek felhasználásával.

17. feladatlap. Három számozott kémcsőben ismeretlen sorrendben a következő oldatok azonos térfogatai vannak: KOH-oldat, Na_2CO_3 -oldat és HNO_3 -oldat. Mindegyik $0,1 \text{ mol/dm}^3$ koncentrációjú. Tervezzetek kísérletet a kémcsövek tartalmának meghatározásához! Állítsatok pH-értékük alapján növekvő sorrendbe az oldatokat! Tervezzetek meg, hogy az eddig felhasznált oldatok és indikátorok segítségével a tálcatokon lévő fehér csempén hogyan készítenétek el a magyar zászlót! Utána végezzetek is el a kísérletet!

Tapasztalatok a feladatlapok lektorálása során

Az anyagokat összesen sok szerző készítette, ezért nagy szükség volt a feladatlapok egységesítésére. A feladatlapok és a tesztfeladatok végső formába öntését, szakmai és pedagógiai ellenőrzését többkörös lektorálás biztosította. Ezen egyszerre mindig legalább négy lektor dolgozott (Riedel Miklós, Rózsahegyi Márta, Szalay Luca, Tóth Zoltán és Wajand Judit, mindig azok, akik nem voltak az adott feladatlap szerzői), akik sokszor egymással is vitatkozva alakították ki a végleges álláspontot. A tanárok így a szerzők által többszörösen javított feladatlapokat kapták meg kipróbálásra. A feladatlapok egységesítésében a legnagyobb gondot az egyes feladatok nehézségi fokában való különbségek, a nehezebb feladatok megoldásához a túl kevés idő, az időnként túl hosszú háttéranyag okozta. A projekt sikeres lebonyolításának előfeltétele, hogy a tantermi munka megszervezése érthető legyen, továbbá a tanulók a feladatlap kézbevételekor tisztában legyenek a munka zavartalan elvégzéséhez szükséges követelményekkel (pl. hány csoportban dolgoznak, azonos vagy különböző kísérleteket végeznek-e el stb.).

A szokásos lektori műveleteken túl ügyelni kellett arra is, hogy az egész anyag összhangban legyen a projekt céljával, a tantervekkel, a tanulók életkori sajátosságaival és meglévő ismeret-szintjükkel, illetve a feladatlapok formai, tartalmi és sorrendi kívánalmaival. Fontos szempont volt, hogy érvényesül-e az egymásra épülés elve, illetve a feladatlap megoldásához elegendő-e a tanórán rendelkezésre álló idő, figyelembe véve a feladat nehézségi fokát is. Azt is vizsgáltuk, hogy a tanári demonstrációs kísérletek szükségesek-e és alkalmasak-e arra, hogy segítsék a ta-

3. ábra. A 22. feladatlap tanulócsoportonként előkészített kísérleti tálcája receptszerű, ill. kísérlettervezető változatban



nulókat a kísérlettervezési feladat megoldásában. Fontos volt az internetes források friss ellenőrzése is, mert a világhálón rengeteg hibás, megtévesztő információ kering, amelyek főként a tanulók, de időnként még a tanárok félrevezetésére is alkalmasak. A kísérletekhez szükséges anyagok időnkénti nehézkes beszerezhetősége miatt esetenként javasoltuk a háztartásban fellelhető anyagok használatát. Ez persze jár egy bizonyos fajta veszéllyel, miszerint ha egy anyag a kémiai kísérletezés tárgya, akkor már nem tekinthető konyhai, háztartási anyagnak. Ilyen szempontból is ellenőriztük a baleset- és környezetvédelmi szempontok érvényesülését is.

A tanárok és a diákjaik végül, az alapos előkészítés után gondosan kidolgozott anyagokat kaptak készhez a kísérletek fényképpel, alkalmanként az értelmezést és a magyarázatot segítő ábrákkal stb. (4. ábra). A projektben résztvevő tanárok visszajelzései is nagyon értékesek voltak. Egészében jól használhatónak tartották a feladatlapokat, de azok kipróbálása és az egész projekt befejezése után a pozitív visszajelzések mellett még mindig akadtak megfontolandó megjegyzések, amelyeket figyelembe vettünk az anyagok publikálása előtt.

4. ábra. 7. osztályos tanulók dolgoznak az 5. feladatlapon



Az év végi tesztek tapasztalatai

A tantárgy-pedagógiai kutatás adatai a tanulókkal megíratott tesztekben származnak. Az első tanév elején minden diáknak meg kellett írnia egy teljesítménymérő és attitűdvizsgáló tesztet (0. teszt), amellyel azt vizsgáltuk, hogy az 5. és 6. osztályos természetismeret tantárgy tanulása során milyen kép alakult ki a tanulóknál az anyag szerkezetéről és a fizikai, ill. kémiai változásokról. Ezt követően, mind a négy tanév végén a diákok egy-egy tesztet írtak (1. teszt, 2. teszt stb.), amely a ténybeli tudás, a kísérlettervező képesség és a kémia iránti attitűd változását mérte. Az összes teszt szerkesztett változatban hozzáférhető a [4] kiadványban. A keretes szöveg egy-egy jellemző kísérlettervező képességet mérő feladatot mutat be a négy évvégi utótesztből. A kísérletek elvégzéséből eredő tárgyi tudásra, valamint az attitűdre vonatkozó kérdéseket itt nem ismertetjük.

1. utóteszt. Egy szokatlanul rendetlen háztartásban felcímkézetlen dobozokban tárolják a következő anyagokat: 1. borkősav, 2. lúgkő (NaOH), 3. Hyperol (por alakban), 4. szódabikarbóna. Szeretnénk rendet teremteni, ezért mind a négy anyagból vizes oldatot készítettünk. A négyféle oldat azonosításához kizárólag fenolftaleinindikátort és üres kémcsöveket használhatunk, valamint az oldatokból vett minták egymáshoz is önthetők. Gondold végig és írd le, milyen kísérletek elvégzésével tudnád meghatározni, hogy melyik edényben melyik anyag van!

2. utóteszt. Három kémcső közül az egyikben ezüstionok, a másikban alumíniumionok, a harmadikban cinkionok színtelen vizes oldata van. Mellettük két fölcímkezett folyadéküveg egyikében ammóniaoldat, a másikban nátrium-hidroxid-oldat van. a) Minimum hány kémcső tartalmát kellene megvizsgálni ahhoz, hogy mindhárom kémcsőről el tudjuk dönteni, melyikben milyen ionot tartalmazó oldat van? b) Az NH_3 -oldat vagy az NaOH-oldat segítségével tudnánk-e meghatározni, hogy melyik kémcsőben melyik ion található? c) Hogyan kellene adagolni az általad kiválasztott oldatot? d) Írd le, mit tapasztalnál az alumíniumionok (Al^{3+}) esetében a fenti kísérlet elvégzésekor! (A kevés, ill. sok reagens alkalmazása esetén a tapasztalatokat a feladat mindkét reagensre külön-külön megadta.)

3. utóteszt. A következő három, felirat nélküli vízmintát szeretnénk azonosítani sav-bázis indikátorok segítségével. A) Esővíz, amely csak a szén-dioxid oldódása miatt enyhén savas, a pH-ja 5,6. B) Erősen szennyezett területen gyűjtött savas eső, a pH-ja 2,8. C) A Balatonból származó vízminta, amelynek a bázikus alapkőzet miatt a pH-ja 8,0. Maximum 2 vizsgálatot végezhetünk. A használható indikátorok (fenolftalein, brómtimolkék, kristályibolya, lakmusz, metilnarancs) adatait (színek és átcsapási tartomány) a feladat megadta. Hogyan járunk el?

4. utóteszt. Négy számozott üvegben a következő négy anyag színtelen vizes oldata van: konyhasó, étkezési cukor, bórsav és malátacukor. A malátacukor redukáló, az étkezési cukor nem-redukáló cukor. Csak a redukáló cukrok választanak le ammóniás ezüst-nitrát-oldatból fémezüstöt. A konyhasóban lévő kloridionok fehér AgCl -csapadékot képeznek az ezüst-nitrát-oldatban lévő ezüstionokkal, míg a bórsav nem reagál velük. A konyhasó és a cukrok vizes oldatai egyaránt semleges kémhatásúak, a bórsav pedig gyenge sav. Hogyan tudnád eldönteni, hogy melyik számú üvegben melyik anyag van? Rendelkezésére áll híg sósav, ammóniaoldat, vas(III)-klorid-oldat, fenolftaleinindikátor, Fehling I. és II. reagensek, ezüst-nitrát-oldat, univerzál indikátor, valamint kémcsövek, amelyekbe kivehetsz mintákat az ismeretlen oldatokból, és cseppentők is. Megkóstolni természetesen nem szabad semmit.

Első lépésben a tanárok a kapott útmutató alapján kódolva értékelték a tanulók válaszait, majd elküldték a kutatócsoport vezetőjének a részletes statisztikai feldolgozásra. Ehhez kellően nagyszámú válaszlapon állt rendelkezésre, hiszen az előtesztet 883 tanuló írta meg, a további években változó, de folyamatosan csökkenő létszámmal (mintegy 850–700) tanulóól gyűlte be a megválaszolt tesztlapok, mivel ha egy tanuló nem írt meg egy tesztet, akkor tovább már nem számítottak bele az eredményeik a mintába. Az összes kitöltött teszt átnézése után elkészült a kiegészített, ill. módosított megoldókulcs, ami alapján az összes teszt egységes szempontok szerinti felüljavítása történt. Az adatok statisztikai elemzését Tóth Zoltán végezte. A projekt és eredményei részletes ismertetése a hazai [8–11] és nemzetközi [6, 7] publikációkban található.

Az első tanévvégi teszt eredménye nem igazolta a kísérlettervezés elvárt pozitív hatását. Ugyanis a kísérleteket megtervező és



végre is hajtó, 3. típusú csoport eredményei sem a kísérlettervezés, sem a diszciplináris tudás tekintetében nem különböztek szignifikánsan az 1. típusú (csak receptszerűen leírt kísérleteket végző) kontrollcsoporttól. Érdekes az is, hogy az első év végén éppen a 3. csoport preferálta legjobban a receptszerű kísérleteket. Ennek magyarázata az lehet, hogy a kísérlettervezés ebben a korosztályban (12–13 éves diákok, 7. osztály) sokkal nehezebb feladat, mint a receptszerűen leírt kísérletek végrehajtása. Feltételezhető, hogy a tanulók többsége ekkor még a konkrét gondolati műveleti fázisban volt, így nem tudtak a hat feladatlap szerint tervezett kísérletekből olyan általánosításokat levonni, amelyek segítették volna egy ismeretlen kísérlet megtervezését. Az év végi teszt ugyanis ezt kívánta volna meg. Ezért a kutatási tervet annyiban módosítottuk, hogy a második tanévtől direkt módon tanítottuk meg a kísérlettervezés legfontosabb elveit a 2. csoportnak a receptszerű kísérletek elvégzése után, a 3. csoportnak pedig a kísérletek megtervezése előtt (amint erre már az osztályok csoportokba sorolása kapcsán is utaltunk). Ezáltal sikerült a következő tanévben elérni azt, hogy mindkét (a 2. és a 3.) kísérleti csoport jobban fejlődött a kontrollcsoportnál, mind a tárgyit tudást, mind a kísérlettervezés képességének fejlődését mérő alteszten. A második tanév végére visszafordult az a nem várt trend is, miszerint a tanulók az első tanév végén kevésbé tartották fontosnak a kísérletek szerepét, mint a kutatás kezdetén. A kísérlettervezés szempontjainak tanítására szolgáló néhány jellemző részletet a keretes szövegben mutatunk be.

11. feladatlap. A karbonátok és savak között lejátszódó reakció miatt a mészkő gátolja a természetes vizek savasodását. Ezen a feladatlapon három kísérlet is ún. „modellkísérlet” volt, mert a valóságban lejátszódó folyamatok kémiai lényegét ragadták meg. A 2. csoporttal a kísérlettervezés szempontjából elemzett, ill. a 3. csoport által megtervezendő kísérletben a tanulók azt modellezték, hogyan változik a savas eső hatására a tó vízének a kémhatása, ha homok vagy ha mészkő alkotja a tómedret. A mészkő hatását a homok hatásához hasonlították, és így a homok ún. összehasonlító anyagként (referenciaanyagként) szerepelt.

13. feladatlap. A feladatlap megoldása során a természettudományos vizsgálatok elvei közül a következőkkel ismerkedtek meg a kísérleti csoportok tanulói (a 2. csoport a receptszerűen leírt kísérlet elvégzése után, a 3. csoport pedig a kísérlettervezés előtt):

- Amikor ismeretlen anyagok kémiai összetételét kívánjuk azonosítani, minőségi elemzést (kvalitatív analízist) végzünk. Ennek fontos (klasszikus) módszerei a „próbák”, pl. a lángfestés vizsgálata, amelyet a nátrium ismert színű lángfestésével végeztek el.
- Ezután foghattak hozzá a feladatlap problémafelvető kérdésének megválaszolásához, hogy hogyan tudnak következtetni a gerjesztési energiák nagyságára lángfestések színének összehasonlításából. Ehhez először a mások korábbi munkái alapján született szakirodalomból megismerhették a következőket: az összefüggést a lángfestés színe és a gerjesztési energia között; konkrét adatokat (a hullámhossz-tartományokhoz tartozó színek); korábbi kísérleti eredményeket (néhány kémiai elem atomjainak lángfestése).
- Ezután elvégezték a kísérletet (a lángfestési próbát a két másik vegyülettel).

- A kapott kísérleti eredményeket értékelték (összevetették a szakirodalomban találtakal) és az alapján megválaszolták a problémafelvető (kutatási) kérdést.

7. és 23. feladatlap. A feladatlapokon szereplő kísérletek során a tanulók egy-egy titrálást modelleztek. (A 7. feladatlapon egy sav-bázis titrálást, a 23. feladatlapon pedig egy redoxititrálást.) Vagyis olyan lépéseket végeztek el, mint a valódi titrálások során, de kevésbé pontos eszközöket és módszereket használtak (pl. büretta helyett Pasteur-pipettát). A kísérleti csoportok diákjainak a figyelmét felhívtuk arra, hogy az általuk alkalmazott eszközök és módszerek, valamint a mérést végzők gyakorlatlansága nagyobb mérési hibákat okozhatnak, mintha szakemberek az erre a célra kialakított laborokban végezték volna a műveletet.

Megtudhatták, hogy rendszeres (szisztematikus) hibát okoz a készülékek, eszközök, módszerek pontatlansága vagy a kísérleti körülmények helytelen megválasztása, esetleg az eredmények helytelen kiértékelése. Véletlen hibát okoz viszont a megfigyelés, leolvasás pontatlansága, az objektív és szubjektív kísérleti feltételek ellenőrizhetetlen ingadozása. Hangsúlyoztuk, hogy minden mérésnek van valamekkora véletlen hibája, és hogy ezek a hibák a valódi értéknel kisebb és nagyobb mérési eredményt egyaránt okozhatnak. A mérési hibák típusait és nagyságát az alábbi ábrával szemléltettük az 1. feladatlapon.

		Véletlen hiba	
		kicsi	nagy
Rendszeres hiba	nagy		
	kicsi		

22. feladatlap. A kísérletek során a tanulók szerves kémiai minőségi elemzést (kvalitatív analízist) hajtottak végre. Ekkor friss és lejárt szavatosságú (a mintakészítéskor szalicilsavra és ecetsavra hidrolizált) aszpirintabletták porát kellett megkülönböztetniük egymástól. A kísérleti csoportok tanulóinak a feladatlapon elmagyaráztuk, hogy az első lépés ilyenkor az, hogy a vizsgálatokat a tiszta anyagokkal végezzük el. Akkor kiderül, hogy hogyan reagál az adott funkció csoport egy-egy reagenssel. Eközben az „egyszerre csak egy paramétert változtatunk” elvet kell követni. A következő lépés az, hogy az ismeretlen anyaggal is elvégezzük a kísérleteket, és a tapasztalatokat összevetjük a tiszta anyagok esetében kapott eredményekkel. A 2. csoport számára a receptszerűen elvégzett kísérletek után leírtuk, hogy a friss aszpirint és a lejárt szavatosságú aszpirint a bomlástermék (a szalicilsav) jelenlétének kimutatásával különböztethették meg. A lejárt szavatosságú tablettában lévő bomlástermék volt a meghatározni kívánt ismeretlen anyag. A még fogyasztható aszpirintabletta kontrollként szerepelt. A kontrollt azért volt szükséges alkalmazni, hogy igazolják: tényleg az aszpirin bomlásából keletkező vegyületet sikerült meghatározni, mert a tiszta aszpirin nem mutatja azokat a sajátosságokat. A 3. csoport számára csak az általános elveket írtuk le, de a konkrét kísérleteket nekik kellett megtervezni.



A második tanév viszonylagos sikerei után kellemetlen meglepetésként ért minket a harmadik tanév végén írt tesztek eredménye. Az adatok elemzése során ugyanis az derült ki, hogy a 2. és 3. számú kísérleti csoport kísérlettervező feladatokon nyújtott teljesítménye nem különbözött szignifikánsan az 1. kontrollcsoporttól. Ez egyfelől értelmezhető úgy, hogy a már a formális gondolati művelési fázisban lévő 15–16 éves diákok elegendő receptszerű kísérlet végzése után képessé válnak bizonyos általánosítások, absztrakciók elvégzésére, és elegendő előzetes ismeret birtokában egyszerű kísérletek megtervezésére. Valószínű azonban, hogy az eredményekben szerepet játszott a feladatlapok kitöltésére való hajlandóság is. Ezt pedig csökkentette a 9. osztályos, igen elvont kémia tananyag miatti motivációvesztés, de az is, ha már megszületett a döntés a diák továbbtanulásáról, és ahhoz nem szükséges kémiából érettségiznie. Statisztikailag kimutatható hatása volt viszont a fejlesztésre annak, hogy a tanulók iskolája hol helyezkedett el a „legjobbiskola.hu” oldalon felállított rangsorban.

A projekt ütemezés szerinti befejezését (a feladatlapok egy részének elvégzését és a végső teszt elkészítését) az időközben kitört Covid-19 járvány megnehezítette. 2020 március közepétől megszűnt a jelenléti oktatás az iskolákban, a kutatás fontos jellemzője viszont éppen az, hogy a tanulók az iskolában, együtt végeznek kísérleteket. Így a kutatásban részt vevő tanárok dönthettek arról, hogy 2020 őszén (az akkor adódó rövid normál oktatási környezetben), az akkor a kémiát kötelező jelleggel már nem tanuló (11. évfolyamos) diákjaikkal elvégzik-e a 2020 tavaszán elmaradt feladatlap-kipróbálásokat és megíratják-e az utolsó tesztet. Végül ezt négy tanár kivételével mindenki vállalni tudta. A tanév végéig ők mindnyájan befejezték diákjaikkal a feladatlapok kipróbálását és a teszt megíratását. Mivel az utolsó tanulói teszt megírásának körülményei mégiscsak rendhagyóak, az eredmények statisztikai elemzéséből csak különös óvatossággal vonhatók majd le általános jellegű következtetések.

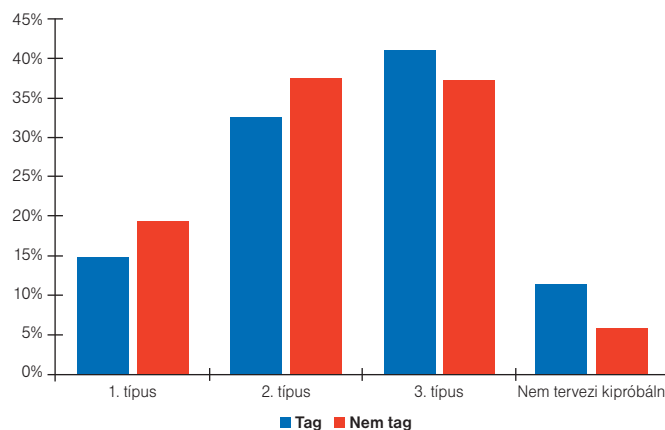
Tanárok véleménye a projekt végén

2020 őszén a kutatásban részt vevő tanárok egy 19 kérdésből álló kérdőív¹ online kitöltésével nyilváníthattak véleményt a projektről és fogalmazhatták meg a javaslataikat. A feladatlapok kipróbálására és a véleményezésbe olyan kémiatanárok is bekapcsolódtak, akik nem voltak tagjai a kutatócsoportnak, sőt több ELTE-n végzett friss diplomás is csatlakozott, akik a kémia szakmódszertan kurzus során ismerkedtek meg a kutatásalapú kémiatanítással. A digitális oktatásra való átállás miatt a feladatlapok olyan diákokkal való kipróbálására, akiket nem vontunk be a kutatásba, végül kevés alkalommal volt lehetőség, de a kérdőív segítségével a tanárok értékelhették az elkészült feladatlapokat. Ez a későbbi hasznosulásuk szempontjából volt informatív. A 26 válaszadóból 19-en a kutatócsoport tagjai voltak, 7-en a kérdőív kitöltése előtt nem vettek részt annak a munkájában. A kérdőívet kitöltőknek ismerniük kellett mind a 24 feladatlap témáját, módszertani útmutatóját, valamint legalább a 3. típusú feladatlapokat, és azok megoldókulcsának szövegét.

A projektben részt vevő tanárok a feladatlapok három típusát részben véletlenszerű sorsolás, részben saját elhatározás alapján

próbálták ki. Ha volt választási lehetőség, akkor az általános iskolás tanulók esetén a tanárok leggyakrabban a kísérlettervezetős feladatlapokat (3. típus), a középiskolás diákok esetén pedig a 2. típus (receptszerű kísérletezés és elméleti bevezetés a kísérlettervezésbe) választották. A saját elhatározás alapján kipróbált feladatlapoknál a választást főleg a kísérletekhez rendelkezésre álló időkeret, a diákok előzetes ismeretszintje, valamint az adott típus motiváló hatása befolyásolta. Tanulságos, hogy ebben a záró felmérés szakaszban a tanárok a kísérlettervezetős munkát csak kis százalékban (kb. 25%) merték volna felvállalni.

A kérdőívekből kiderült az is, hogy a kémiatanárok melyik típusú feladatot gondolják használhatónak a későbbi oktatómunkájukban, sőt az is, hogy konkrétan melyik feladatlapokat tudnák beépíteni a mindennapi tanítási gyakorlatukba. A projektben készített feladatlapokat a jövőben a tanárok 85%-a szeretné használni, méghozzá erre átlagosan öt 1. típusút, tíz 2. típusút és 12 darab 3. típusút jelölték meg. A projekt résztvevői kicsit nagyobb arányban tervezik kipróbálni a 3. típusú feladatlapokat, ezzel szemben a csak a kérdőív kitöltésébe bekapcsolódók a kutatócsoport tagjaihoz képest több 1. és 2. típusú feladatot terveznek elvégezni. Érdekesnek tűnik, hogy a kutatócsoport tagjai nagyobb arányban nyilatkoztak úgy, hogy a jövőben nem terveznek felhasználni bizonyos feladatlapokat, esetleg nem is lesz módjuk rá (5. ábra). Ennek oka az, hogy közülük hárman is épp mostanában vonultak, illetve vonulnak nyugdíjba.



5. ábra. A feladattípusok tervezett további használata a kutatócsoport tagjai és nem tagjai esetén

A tanárok többségének véleménye alapján öt kísérlettervezetős feladatlap különösen jól használható. A legtöbben „Az indikátoroktól az országzászlóig” című feladatlapot emelték ki az elvégzendő kísérletek látványosságáért, az egyszerű kivitelezhetőségéért, a kísérleti tapasztalatok egyértelműségéért, a kísérlettervezés alapos kidolgozottságáért és a tanulók tudásának hasznos ismeretekkel való bővüléséért. A „Hogyan működik a sütőpor?”, az „Oldás és kötés”, a „Mire jó még a tűzijáték?” és a „Mennyi C-vitamin van a narancslében?” című feladatlapokat a fenti szempontok mellett a kísérletek kevésbé időigényes előkészítéséért, a háztartásokban is megtalálható eszközök és anyagok használatáért, az elvégzendő kísérletek hétköznapi vonatkozásaiért, az adatok táblázatos összesítéséért és rendszerezéséért sorolták a legjobbak közé. A tanárok nagyobb része ítélte nehezen alkalmazhatónak a „Fémek harca” és a „Csepp a tengerben” című feladatlapokat [3]. Az előbbi módosítani javasolják, mert ennél a diákok csoportjai különböző kísérleteket végeznek, ám egy nagy létszámú (34–36 fős) osztályban nagyon nehéz ezt megszervezni.

¹ A kérdőív elérhető online:

https://docs.google.com/forms/d/1bQ22SkniiTuWgAXw03jYZnxNMxQZagrYbGCH3Y0Lle0/edit?edit_requested=true



Egy-két nehezebb feladatot tehetséggondozásra javasoltak használni. A kísérletekhez szükséges eszközök és anyagok cseréjére is tettek néhány megfontolandó javaslatot. A háztartási anyagok helyett néhány kísérletnél – a szerzők ajánlásával és a projekt filozófiájával ellentétben – inkább vegyszereket használnának, mert ezekkel a tapasztalatok szerint a jelenségek olykor jobban megfigyelhetők. A tanárok kétharmada nyilatkozott úgy, hogy a feladatlapok jövőbeni alkalmazása esetén biztosan változtatni fog azokon. Számos ötlet merült fel e tekintetben, így az elméleti bevezetés rövidítése, bizonyos kísérletek egyszerűsítése vagy módosítása, egyes kísérletek kihagyása, valamint a feladatlap dupla tanórában történő feldolgozása.

A tanárok a nehézségek között megemlítették az elvégzendő kísérletek időigényességét, vagyis azt, hogy a feldolgozásra nem mindig volt elég a 45 perces tanóra. További problémaként jelölték meg a kémiai számításokat is tartalmazó kísérlettervezést, az adott évfolyam tudásszintjét meghaladó előzetes ismeretek elvárását, a nem minden esetben egyértelmű kísérleti tapasztalatokat, és a differenciált csoportmunka alkalmazását. Úgy tűnik, hogy alig befolyásolta a tanárok véleményét a feladatlapok pozitív megítélésénél a tantárgyak (biológia, földrajz) közötti kapcsolat megjelenése, a környezetvédelmi ismeretek bővítése, az „egyszerre csak egy tényezőt változtatunk” elv alkalmazása, továbbá az okoseszközök használata, annak ellenére, hogy ezeket a projekt szervezői eredetileg pozitívumnak tekintették.

A kémiatanárok közel fele egyértelműen úgy véli, hogy a kutatásalapú/kísérlettervező módszert úgy kellene módosítani, hogy a jelenlegi magyar oktatási rendszerrel még inkább összhangban legyen. Ennek lehetőségét legtöbben a rövidebb és a tantervi követelményekhez jobban igazodó feladatlapokban látták. Nagymértékben segítené a tanárok munkáját, ha a kísérletezésre nagyobb tanórai, esetleg szakköri időkeret állna rendelkezésre, valamint a kísérletek előkészítésében laboráns segítségét is igénybe lehetne venni. A 26 tanár közül 20-an szívesen vállalnának részt egy olyan új projektben, amelyben rövidebb, jobban strukturált, a kémiai tananyag globális összefüggéseire is rámutató, kísérlettervező feladatokat kapnának a diákok.

Végső következtetés

Nemzetközi szinten egyre több, a kémia tanításával foglalkozó szakember ismerte már fel, hogy a kísérlettervezés a természettudományos gondolkodás és műveltség fejlesztésének egyik lehetséges eszköze. A jelen projekt során a kutatásalapú módszer hosszú távú hatásait is vizsgálni akartuk, ugyanis a diákok gondolkodásmódjára gyakorolt hatásának maradandónak kellene lennie ahhoz, hogy érdemes legyen a módszert a vizsgált formában alkalmazni. A tanulóknak egész életükben emlékezniük kellene arra, hogy melyek egy természettudományos kísérlet korrekt megtervezésének kritériumai, és mi különbözteti meg ezt az áltudományos alapon végzett kísérletektől és véleménynyilvánítástól.

Alkalmazott módszereinkkel a projekt végéig sajnos nem tudtunk jelentős változásokat elérni a tanulók kémia tantárgy iránti attitűdjében és a kémiából szerzett jegyei átlagában. Nem sikerült jelentősebben befolyásolni a diákok véleményét a kísérletek fontosságáról sem. Ennek oka részben az ilyen feladatok szokatlansága lehetett, részben pedig az, hogy ezek bizonyos gyakorlati tudást és érzéket is igénylő, elég komoly szellemi megerőltetést jelenthettek számukra. Érthető az is, hogy a diákok a kutatásunktól független kötelező tananyag elsajátítására koncentráltak,

ami hagyományosan nem tartalmaz ilyen jellegű feladatokat. A kérdéseinkre adott válaszokból nyilvánvaló, hogy a motiváció szempontjából a tanulóknak csak egy kisebb hányada tartozik a kísérlettervezéshez hasonló kihívásokat kedvelő „felfedező” típusba. A „lelkiismeretes” és a „törekvő” típusba tartozók viszont jobban szeretik, ha előre lefektetett, egyértelműen definiált és könnyen áttekinthető kritériumrendszernek kell megfelelniük. A kutatócsoportunk tapasztalatai egyébként óvatosságra intenek abban a tekintetben, hogy milyen fokú önállóság és mekkora lelkesedés várható el az ilyen korú tanulóktól a kutatásalapú módszer alkalmazásakor. Ezért nem javasoljuk azt a megközelítést, amelyben még a problémafelvető kutatási kérdést is maguknak a diákoknak kell megfogalmazniuk (ez a sok kutató által preferált ún. „open inquiry” megközelítés).

Mindemellett nyilvánvaló az is, hogy a tanuló-kísérletezés feltelei (az alacsony kémiaóraszám, a vegyszerek és eszközök, valamint a laboránsok hiánya, ill. a tanórákra való felkészülési idő hiánya miatt) hazánkban jelenleg sok iskolában nem adottak, és ez erősen korlátozza e módszer szélesebb körben való elterjedését. Előrelépést jelent viszont, hogy a 2020 szeptemberében bevezetett Nemzeti alaptantervben [12] és a kémia-kerettantervekben [13], illetve a tankönyvekben [14] már szerepel a kutatásalapú tanulás és a kísérlettervezés. A módszer beépült az Eötvös Loránd Tudományegyetem nappali rendszerű kémiatanár-képzésébe is [15]. Úgy véljük, hogy egyelőre a közeli jövőben elsősorban az egyébként is elkötelezett kémiatanárok fogják alkalmazni a módszert és az ehhez kidolgozott feladatlapjainkat. A nemrég véleményezett érettségi követelmény tervezetében viszont már szerepelnek elvárások egyszerű kísérletek, mérések tervezésére, végrehajtására, az eredmények értelmezésére stb. vonatkozóan [16]. A követelményrendszer várhatóan 2024-től már érvénybe léphet.

A tesztek elemzése alapján született pedagógiai és oktatás-módszertani eredményeket és következtetéseket több konferencián, valamint szakmai fórumon és tanártovábbképzésen tettük közzé, és e lap hasábjain is két alkalommal szerepelt korábban ismertetés a projektben folyó munkáról [8, 9]. A kutatás összes anyaga (a 24 feladatlap mindhárom típusa, a tanári útmutatók, a tesztek és megoldókulcsok, továbbá az eredményeket összefoglaló előadások prezentációs diárai, poszterei stb.) nyilvánosan hozzáférhető [5]. Reméljük, hogy mindez értéket képvisel, és tartalmaz érdekes kontextusba helyezett új, vagy sokak által nem ismert információkat, vizsgálatokat is. Így végül nemcsak a projekt résztvevői, hanem a későbbi felhasználók is jól alkalmazható oktatási segédanyagokhoz juthatnak, sőt az elkészült kiadványok a jövőben hasonló gyűjteményt összeállítók számára is hasznosak lehetnek.



A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgypedagógiai Kutatási Programja támogatta. Köszönjük az MTA vezetésének, különösen a Tantárgypedagógiai Kutatási Program szakmai vezetőjének, Patkós András akadémikusnak, hogy megteremtették a lehetőséget a kutatás elvégzésére.

A szerzők köszönetüket fejezik ki Szalay Lucának a cikk elkészítéséhez adott sokrétű segítségéért.

IRODALOM

- [1] Magyar Tudományos Akadémia, Tantárgy-pedagógiai Kutatási Program, <https://mta.hu/tantargy-pedagogiai-kutatasi-program>
- [2] L. Szalay, Z. Tóth: An inquiry-based approach of traditional 'step-by-step' experiments, *Chem. Educ. Res. Pract.* (2016) 17, 923–961.
- [3] „Feladatlapok a kutatásalapú kémiatanításhoz”, szerk. Szalay L., ELTE, Budapest, 2021, ISBN 978-963-489-338-7, <http://ttomc.elte.hu/publications/90>
- [4] „Tesztfeladatok a kutatásalapú kémiatanításhoz”, szerk. Szalay L., ELTE, Budapest, 2021, ISBN 978-963-489-339-4, <http://ttomc.elte.hu/publications/90>
- [5] Az MTA–ELTE Kutásalapú Kémiatanítás Kutatócsoport publikációi, <http://ttomc.elte.hu/publications/90>



- [6] L. Szalay, Z. Tóth, E. Kiss: Introducing students to experimental design skills, Chem. Educ. Res. Pract. (2020) 21, 331–356.
- [7] L. Szalay, Z. Tóth, R. Borbás: Teaching of experimental design skills, Chem. Educ. Res. Pract. 2021 (közlésre elfogadva)
- [8] Szalay L.: A kutatásalapú tanulás esete a magyar valósággal, Magyar Kémikusok Lapja (2016) 338–341.
- [9] Szalay L., Tóth Z.: Hagyományos tanulókísérletek kutatásalapú átalakítása – egy pedagógiai kísérlet hatásvizsgálata, Magyar Kémikusok Lapja (2016) 366–372.
- [10] Szalay Luca, Tóth Zoltán: Kutatásalapú tanulást, de hogyan? In: Károly Krisztina – Homonnay Zoltán (szerk.): A tanulás és a tanítás értékelése. Diszciplínák tanítása – a tanítás diszciplínái 4. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2017, 70–84.
- [11] Szalay Luca, Tóth Zoltán, Kiss Edina: A kutatásalapú kémia tanítás tanulója, Magyar Tudomány (2020) 181/8, 1032–1037.
- [12] Nemzeti alaptanterv 2020, 5/2020. (I. 31.) Korm. rendelet, Magyar Közlöny 17. sz. 2020. január. 31.
- [13] A 2020-as NAT-hoz illeszkedő tartalmi szabályozók https://www.oktatas.hu/koznevelés/kerettantervek/2020_nat
- [14] A Nemzeti Köznevelési Portálról letölthető tankönyvek: <https://www.nkp.hu/tankonyvek>
- [15] Szalay Luca: „Új” osztatlan kémia tanár-képzés az ELTE Kémiai Intézetében, Magyar Kémikusok Lapja (2019) 76–80.
- [16] https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktat/erettsegi/kerdoiv2021/kemia.pdf Az internetes források utolsó látogatása 2021. április 18.

Az alábbi és a borítón lévő képek a diákok munkáját mutatják a „Megvalósítható kutatásalapú kémia tanulás” projekt során. A képeket a szerkesztőség válogatta a projekt honlapján lévő képgalériából.



18. FELADATLAP: A JANUS-ARCÚ HIDROGÉN-PEROXID



21. FELADATLAP: LA DOLCE VITA – AZ ÉDES ÉLET

3. FELADATLAP: OLDÁS ÉS KÖTÉS



3. FELADATLAP: OLDÁS ÉS KÖTÉS



21. FELADATLAP: LA DOLCE VITA – AZ ÉDES ÉLET





KIRÓL NEVEZTÉK EL?

Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

Gibbs, Duhem, Lippmann és Helmholtz egyenletei, függvényei

A kémiai és a fizikai tanulmányaink során nagyon sok törvényt, egyenletet, eszközt úgy tanulunk, hogy azokat egy vagy több személy nevéhez kötjük. Hosszú évekre visszanyúló oktatói tapasztalatom, hogy azokról a kutatókról, akiknek a nevével így ismerkedünk meg, nagyon keveset vagy éppen semmit sem tud a hallgatóság, sőt a tanároknak sincs mélyebb ismeretük a tevékenységükről, életükről. Kivétel néhány kiemelkedő tudós, például Michael Faraday, akinek rövid életrajzáról általában már a középiskolában is szó esik. Róla nagyon sok minden van elnevezve, sőt az elektrolízisre vonatkozó Faraday-törvényt tiszteletből emlegetjük a nevével mind a mai napig, hiszen ez két később felfedezett alaptörvényünk közül, a tömeg- és töltésmegmaradás törvényeiből következik. De hát mit tudnánk hirtelen mondani Ohmról, Fickről, Duhemről, Lippmannról vagy Brunauerről? Az életutak is tanulságosak. Erőt adhatnak az ifjú, de akár az idősebb olvasónak is, hiszen sokuk nagy nehézségek legyőzése után lett olyan tudós, akinek neve évszázadokra fennmaradt. Azzal is megismerkedhetünk, hogy nem minden törvény vagy egyenlet viseli az igazi felfedező nevét, például ilyen a Boyle–Mariotte-törvény, a Lambert–Beer-törvény, a Butler–Volmer-egyenlet és még sorolhatnánk. Sajnálatos, de ez azzal függ leginkább össze, hogy az adott korban melyik nemzet az a tudományos nagyhatalom, ahol és akik nyelvén a könyvek és folyóiratok megjelennek. Ezért változnak is az elnevezések. Kibővülnek újabb szerzőkkel, és mivel három név már sok, egy-egy kezd elmaradni. A sorozat írásai mindig az adott törvényt, szabályt, egyenlet ismertetésével kezdődnek, majd a névadók életével foglalkozunk.

Bármelyik fizikai kémiai könyvben Gibbsről elnevezett mennyiségek, szabályok, törvények sokaságával találkozunk. Ebben kétségtelenül ő a csúcstartó. Josiah Willard Gibbsről (1839. február 11., New Haven, Connecticut, USA – 1903. április 28., New Haven) van szó (1. ábra). (Van egy másik, Gibbs nevű amerikai kémikus is, Oliver Wolcott Gibbs (1822–1908), akit számontart a

tudománytörténet, az ő nevéhez kötődik az elektrogravimetria.) A Gibbs-energia (G) vagy Gibbs-energiafüggvény (régbben használatos volt a Gibbs-féle szabadenergia vagy szabadentalpia [1–4] megnevezés is, mértékegysége: J):

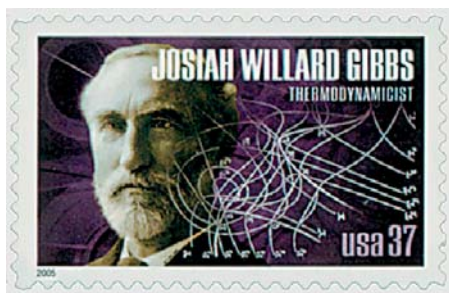
$$G = H - TS, \tag{1}$$

ahol H az entalpia, S az entrópia és T a hőmérséklet. A G teljes differenciálja:

$$dG = dH - SdT - TdS. \tag{2}$$

Mivel $H = U + pV$, ahol U a belső energia, p a nyomás és V a térfogat, T és p változókra felírva

$$dG = -SdT + Vdp. \tag{3}$$



1. ábra. Bélyeg Gibbsről 2005-ből (a négytagú bélyegsorozat egyikén John von Neumann (Neumann János, 1903–1957) látható)



Ha $dT = 0$ és $dP = 0$, akkor $dG = 0$. Tehát ezt az összefüggést használhatjuk izoterm-izobár körülmények között (a vegyészek általában állandó hőmérsékleten és nyomáson dolgoznak) a belső energia helyett az egyensúly feltételeként. Önként végbemenő folyamatban G csökken.

Többkomponensű és többfázisú rendszerre:

$$dG^\alpha = -S^\alpha dT + V^\alpha dp + \sum_i \mu_i^\alpha dn_i^\alpha, \quad (4)$$

ahol μ_i^α az i részecske kémiai potenciálja az α fázisban, n_i a részecskék mennyisége.

Ezt az összefüggést használjuk kémiai reakciók esetén is. Egy kémiai reakciót így írhatunk fel:

$$\sum_\alpha \sum_i \nu_i^\alpha A_i^\alpha = 0, \quad (5)$$

ahol A_i a reakcióban részt vevő részecskéket jelenti, míg ν_i a megfelelő sztöchiometriai együttható (fogyó anyagokra negatív, a termékekre pozitív). A reakció Gibbs-energiaváltozása (ΔG)

$$\left(\frac{\partial G}{\partial \xi} \right)_{p,T} = \Delta G = \sum_\alpha \sum_i \nu_i \mu_i^\alpha, \quad (6)$$

ami a Gibbs-energia változása a reakció előrehaladásának függvényében. Ezt hívjuk ma a reakció affinitásának.

Egyensúlyban az érintkező fázisokban jelen levő specieszokra

$$\sum_\alpha \sum_i \nu_i^\alpha \mu_i^\alpha = 0. \quad (7)$$

Ha a reagáló anyagok töltéssel rendelkeznek (ionok, elektron) akkor elektromos munkavégzés (w_{el}) is történik:

$$w_{el} = -Q \Delta E = -nF \Delta E, \quad (8)$$

amivel ki kell egészíteni az alapegyenletet. Tehát az alapegyenletet $E dQ$ taggal kell kiegészíteni (lásd Gibbs–Duhem-egyenlet), ahol Q a töltés, E a potenciálkülönbség, F a Faraday-állandó, n pedig a töltésszám-változás.

Az elektrokémiai cellák esetén a cellareakció potenciálját (E_{cell}), ami jó közelítéssel egyenlő a mért elektromotoros erővel, szintén ΔG segítségével definiáljuk:

$$E_{cell} = -\frac{\Delta G}{nF}, \quad (9)$$

a mínuszjel csak arra szolgál, hogy önként végbemenő cellareakció esetén pozitív legyen, mivel ilyenkor ΔG negatív.

A megfelelő standard értékekből a reakció egyensúlyi állandóját (K) kaphatjuk meg.

$$E_{cell}^\ominus = \Delta G^\ominus / nF = (RT/nF) \ln K. \quad (10)$$

A termodinamika alapvető egyenlete további tagokkal bővíthető: $w_{fel} = \gamma \Delta A$ a felületváltoztatással járó munka, ahol γ a felületi feszültség (lásd Gibbs-féle adszorpciós egyenlet, Gibbs–Lippmann-egyenlet), de például kiegészíthető mágneses munkával vagy gravitációs munkával (általában elhanyagolható) is.

A **Gibbs-féle aktiválási energia** $\Delta^\ddagger G$ ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) a standard Gibbs-energia különbsége ($\Delta^\ddagger G^\ominus$) az átmeneti és a kiindulási energiaállapot között. A reakció sebességi együtthatójának (k) hőmérsékletfüggéséből számítható ki az átmeneti állapot elmélete alapján.

$$k = \kappa (k_B T/h) \exp(-\Delta^\ddagger G^\ominus / RT), \quad (11)$$

ahol k_B a Boltzmann-állandó, h a Planck állandó, κ a transzmissziós együttható, ami azzal van kapcsolatban, hogy nem minden rezgés vezet a termék képződéséhez.

Gibbs fázistörvénye: az egymással egyensúlyban lévő fázisok (F) maximális száma függ a rendszert felépítő komponensek (K) számától. Ezt az összefüggést adja meg Gibbs fázistörvénye. Ha az i komponens két fázisban jelen van, akkor egyensúlyban a komponens kémiai potenciálja azonos a két fázisban: $\mu_i^\beta = \mu_i^\alpha$. Ez akárhány fázisra igaz, tehát tovább írhatnánk a sort a γ , δ , ϵ stb. fázisokra is. Ez az egyenletrendszer mindegyik komponensre $F-1$ független egyenletet jelent, tehát K számú komponensre $K(F-1)$ egyenletet. Egykomponensű rendszer esetén két intenzív sajátság, a nyomás és a hőmérséklet elég egyértelműen meghatározza a rendszer állapotát. Ezt a számot a rendszer szabadsági fokának hívjuk. Többkomponensű rendszerek esetén a fázisok összetételét meghatározó koncentrációadatok növelik a szabadsági fokok számát. Ehhez $F(K-1)$ koncentrációadatra van szükség, ugyanis egy fázis összetételét $K-1$ koncentráció egyértelműen meghatározza (a móltörtök összege 1). Ily módon a szabadsági fokok számát a következő egyenlet adja meg:

$$SZ = K - F + 2. \quad (12)$$

Ez Gibbs fázistörvénye.

A **Gibbs-féle adszorpciós egyenlet** az oldatok felületi feszültségének (γ) koncentrációfüggését írja le állandó nyomáson és hőmérsékleten [5]. A megfelelő Gibbs–Duhem-egyenletet (lásd ott) $-Ad\gamma + \sum_i n_i d\mu_i = 0$ alkalmazva a felületi többletkoncentrációra ($\Gamma_i = \bar{n}_i/A$, $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$, ahol A a felület) a következő egyenletet kapjuk:

$$-d\gamma = \sum_i \Gamma_i d\mu_i. \quad (13)$$

Ha különböző érintkező fázisokat veszünk (és általában ez a helyzet), akkor a fázisokra is felírjuk és összegezzük

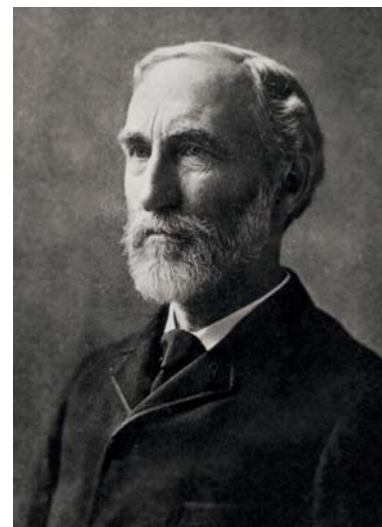
$$-d\gamma = \sum_\alpha \sum_i \Gamma_i^\alpha d\mu_i^\alpha. \quad (14)$$

Mivel a kémiai potenciál a relatív aktivitás (ideális esetben a koncentráció) függvénye,

$$\mu_i = \mu_i^\ominus + RT \ln a_i, \quad (15)$$

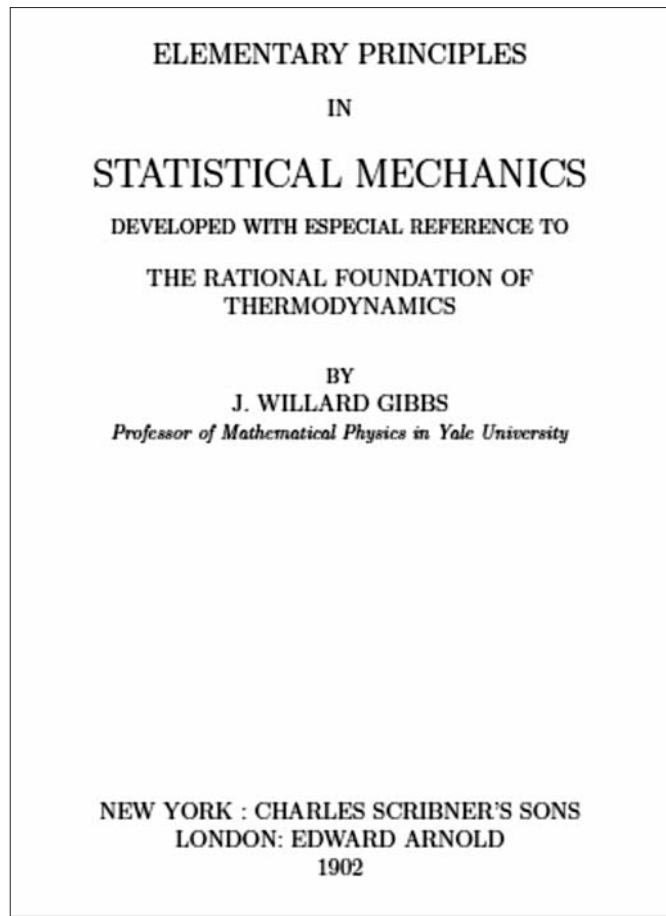
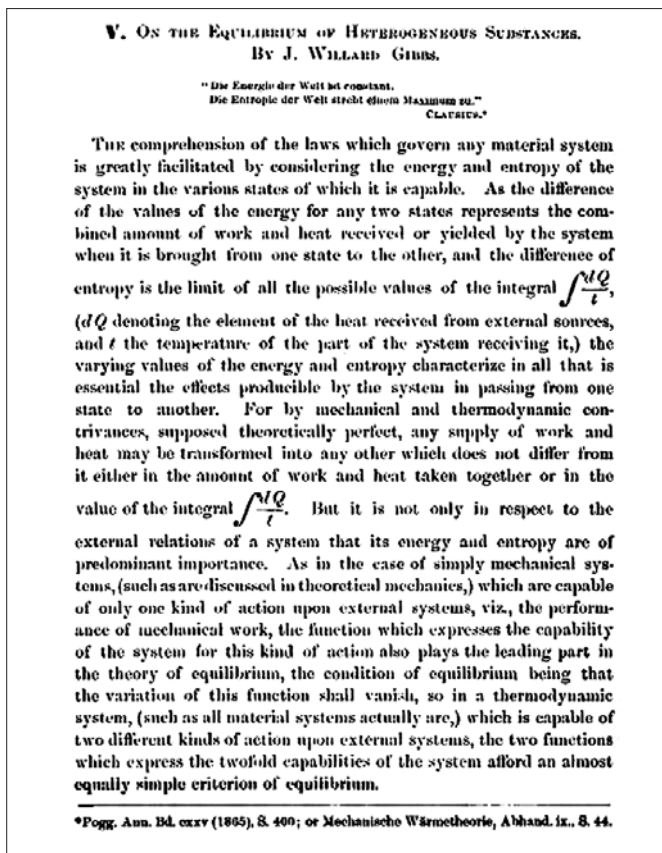
azt behelyettesítve megkapjuk a felületi feszültség függését az összetételtől (koncentrációtól) (lásd a Gibbs–Lippmann-egyenletnél).

2. ábra.
Josiah Willard Gibbs



Gibbs (2. ábra) előkelő amerikai családból származott. Robert Gibbs, Sir Henry Gibbs of Honington negyedik fia 1658-ban érkezett Amerikába. Gibbs apját szintén Josiah Willard Gibbsnek hívták; az egyházi irodalom professzora volt a Yale teológiai iskolájában. Az ifjabb Gibbs is a Yale-re járt 1854 és 1858 között, ahol kitűnt matematikából és latinból. 1863-ban doktorált. Két év tanárkodás után európai körútra ment: 1866–67-ben Párizsban volt, a következő évben Berlinben Gustav Magnustól (1802–1870) hallgatott fizikát és matematikát, majd Heidelbergben képezte magát tovább, ahol Kirchhoff és Helmholtz tanított. 1869-ben tért haza New Havenbe, két évvel később a Yale College-ban a matematikai fizika professzorává nevezték ki, ahol azután élete végéig tanított [6, 7].

Maxwell (1831–1879) figyelt fel, és írt is Gibbsnek. Igazából kevés kémikus rendelkezett a megfelelő matematikai felkészültséggel. A cikket 1891-ben Ostwald lefordította németre, majd 1899-ben Le Chatelier franciára. Felismerték, hogy a Gibbs által megállapított törvényszerűségek egy részét már használják is a kísérleti eredmények megmagyarázására, Gibbs több meglátása pedig új, fizikai kémiai eredményekkel lehet igazolható. A további években Gibbs fontos eredményeket ért el a matematikában is (vektoranalízis) és a fény elektromágneses természetét illetően. Számunkra utolsó nagy munkája érdekes, ami „Elementary Principles in Statistical Mechanics” címmel jelent meg (4. ábra).



3. ábra. J. W. Gibbs (1876) Trans. Connecticut Acad. Arts 3,108. Érdekes a vezérelvként szolgáló mottó, amit Clausiustól kölcsönzött: „A világ energiája állandó, a világ entrópiája a maximumra törekszik”

1873-ban publikálta első tanulmányait: „Graphical Methods in the Thermodynamics of Fluids”, illetve „A Method of Geometrical Representation of the Thermodynamic Properties of Substances by Means of Surfaces” címmel. Már ezek is fontos termodinamikai munkák voltak, de az 1876 és 1878 között két részben megjelent „On the Equilibrium of Heterogeneous Substances” hozta meg igazából a világhírt a szerzőnek – jóval később, mert Gibbs a helyi tudományos folyóiratban, a *Transactions of the Connecticut Academy*ben tette közzé az eredményeit (3. ábra). Bizony ezt kevesen olvasták a világban. Az sem segített, hogy olyan diagramokat használt, amelyeket mások nem. Így a népszerű térfogat-nyomás diagram helyett ő például entrópia-hőmérséklet vagy térfogat-entrópia ábrázolást alkalmazott. Újdonság volt az is, hogy három koordinátát (térfogat-entrópia-energia) használt. Ennek hasznosságára egyedül James Clerk

4. ábra. Az Elementary Principles in Statistical Mechanics könyv címlapja

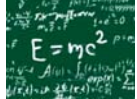
Ezért Boltzmann és őt tekintjük a statisztikus termodinamika megalapítójának. Az 1880-as évektől munkásságát egyre jobban elismerték, sok egyetem és akadémia tagjává választották, kitüntetései között tudhatta az Amerikai Akadémia Rumford-érmét és a Royal Society Copley-érmét is. Élete nem volt kalandos, nem nősült meg, és ugyanabban a házban élt, amelyet még apja építtetett.

A Gibbs–Duhem-egyenlet különböző komponensek parciális moláris mennyiségei közötti összefüggés. Bármilyen parciális moláris sajátságára érvényes, de leggyakrabban a kémiai potenciálok $(\partial G / \partial n_i = \mu_i^\alpha)$ számítására használjuk [2, 3, 5].

A Gibbs-energiafüggvényt differenciálva:

$$dG^\alpha = \sum_i \mu_i^\alpha dn_i^\alpha + \sum_i n_i^\alpha d\mu_i^\alpha, \quad (16)$$

majd kivonva a T, p, n_i változókra felírt fundamentális egyenletből,



$$dG^\alpha = -S^\alpha dT + V^\alpha dp + \sum_i \mu_i^\alpha dn_i^\alpha, \quad (17)$$

megkapjuk a Gibbs–Duhem-egyenletet:

$$S^\alpha dT - V^\alpha dp + \sum_i n_i^\alpha d\mu_i^\alpha = 0. \quad (18)$$

Állandó T és p mellett:

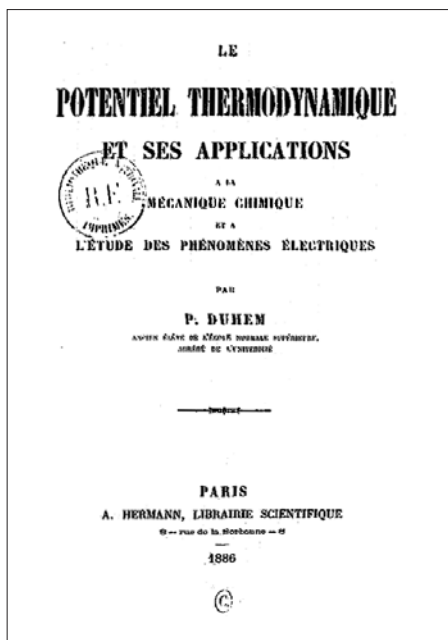
$$\sum_i n_i^\alpha d\mu_i^\alpha = 0. \quad (19)$$

A Gibbs–Duhem-egyenletet használjuk például a Gibbs-féle adszorpciós egyenlet vagy a Gibbs–Lippmann-egyenlet levezetésénél (lásd ott).



5. ábra.
Pierre Duhem

Pierre Maurice Marie Duhem (Párizs, 1861. június 9. – Cabrespine, Franciaország, 1916. szeptember 14.; **5. ábra**) Flamand eredetű családból származott, apja utazó ügynök volt. A Stanislas katolikus magániskolába járt, ahol kitént sokirányú tehetségével. 1882-ben iratkozott be az École normale supérieure-be. Már diplomaszerezés előtt megjelent első cikke az elektrokémiai cellákról. 1884-ben nyújtotta be doktori értekezését, amelyben a termodinamikai potenciált tárgyalta, és a kémiai reakciók affinitását a szabadenergiával hozta összefüggésbe. Ez viszont ellentétben volt Marcellin Berthelot (1827–1907), a kor vezető francia termokémikusának elméletével, aki a reakcióhőben jelölte meg az affinitás okát. Berthelot elintézte, hogy Duhem dolgozatát utasítsák el.



6. ábra. Duhem termodinamikai könyve 1886-ból

1886-ban Duhem publikálta az értekezést (**6. ábra**). Elég nagy merészségre vallott, mert Berthelot abban az évben lett az oktatási miniszter. 1886-ban új, matematikai témájú disszertációt nyújtott be. Ekkor már Lille-ben tanított hidrodinamikát, rugalmasságtant és akusztikát. Itt is nősült, de felesége és kislánya a szülés közben meghalt. 1894-től a Bordeaux-i Egyetemen tanított. Bár a tudományos világ egyre inkább elismerte az igazát (lásd Gibbs–Helmholtz-egyenlet, Bugarszky), és 1900-ban a Francia Tudományos Akadémia levelező tagjának is megválasztották, Berthelot blokkolni tudta Duhem párizsi karrierjét. Duhem nemcsak Berthelot-val veszett össze, hanem szakmai, világnézeti és politikai okokból számos más hazai és külföldi tudóssal, így angolokkal és németekkel is. Tudománytörténészként hívták Párizsba, ezt viszont nem fogadta el [8, 9].

Számunkra a kémiai termodinamika területén kifejtett munkássága kiemelkedő fontosságú. Gibbs művei nagy hatással voltak rá, és ő lett Gibbs fő propagálója a francia tudósok között. A Gibbs–Duhem-egyenlet mellett nevét viseli a Duhem–Margules-egyenlet is. Bár a fenomenologikus termodinamika egyik jelentős művelője volt, a statisztikus termodinamikát elvetette – főleg azért, mert nem hitt az atomok létezésében. Einstein relativitáselméletét is támadta.

Duhem nagyon sok tudománytörténeti, tudományelméleti, filozófiai könyvet is írt, ezeken a területeken éppen olyan neves tudósnak számít, mint a termodinamikában.

A **Gibbs–Lippmann-egyenlet** Gibbs adszorpciós egyenletének (lásd ott) kiterjesztése, ha az adszorbeálódó részecskék töltéssel rendelkeznek (ion- vagy elektrontöbblet alakul ki az érintkező felületeken). Ekkor az adszorpció függ az elektromos potenciáltól (E) is, és ilyenkor a kémiai potenciál helyett az elektrokémiai potenciál ($\tilde{\mu}_i$) szerepel az egyenletben. Elektrodoknál a potenciálkülönbség spontán kialakul, mert az adszorpció miatt a pozitív és a negatív töltések elkülönülnek, az egyik felületen elektron- vagy anion-, a másik felületen kationtöbblet alakul ki. Ekkor a Gibbs–Lippmann-egyenlet írja le a viszonyokat [2, 3, 5]:

$$-d\gamma = \sum_\alpha \sum_i \Gamma_i^\alpha d\tilde{\mu}_i^\alpha. \quad (20)$$

Ideálisan polarizálható elektródra:

$$\sigma^\alpha = \sum_i z_i F \Gamma_i^\alpha = -\sigma^\beta = -\sum_i z_i F \Gamma_i^\beta, \quad (21)$$

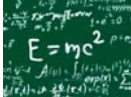
ahol z_i is az ion vagy az elektron töltésszáma, F a Faraday-állandó, σ^α and σ^β a szabad töltéssűrűség az α , illetve a β fázisokon ($C \cdot m^{-2}$).

Ideálisan polarizálható elektródra (például egy B semleges molekult is tartalmazó KA só vizes oldatába merülő higanyelektrod esetén):

$$-d\gamma = \sigma^\alpha dE_{(-)} + \Gamma_{K^+(H_2O)}^\beta d\mu_{KA}^\beta + \Gamma_{B(H_2O)}^\beta d\mu_B, \quad (22)$$

ahol $E_{(-)}$ az elektródpotenciál egy referenciaelektrodhoz viszonyítva, amely az A^- anionra reverzibilisen működik (pl. $Ag/AgCl$), $\Gamma_{K^+(H_2O)}^\beta$ és $\Gamma_{B(H_2O)}^\beta$ a felületi többletkoncentrációk az oldószerhez viszonyítva, μ_{KA} és μ_B a KA só, illetve B molekula kémiai potenciálja. Ezt az egyenletet hívjuk Gibbs–Lippmann- vagy elektrokapilláris egyenletnek.

Ha az összetételt rögzítjük (állandó koncentrációval mérjük a potenciálfüggést), a Lippmann-egyenletet kapjuk:



$$\left(\frac{\partial \gamma}{\partial E_{(-)}}\right) = \sigma^\alpha. \quad (23)$$

Míg állandó potenciálnál változtatva az egyik összetevő koncentrációját:

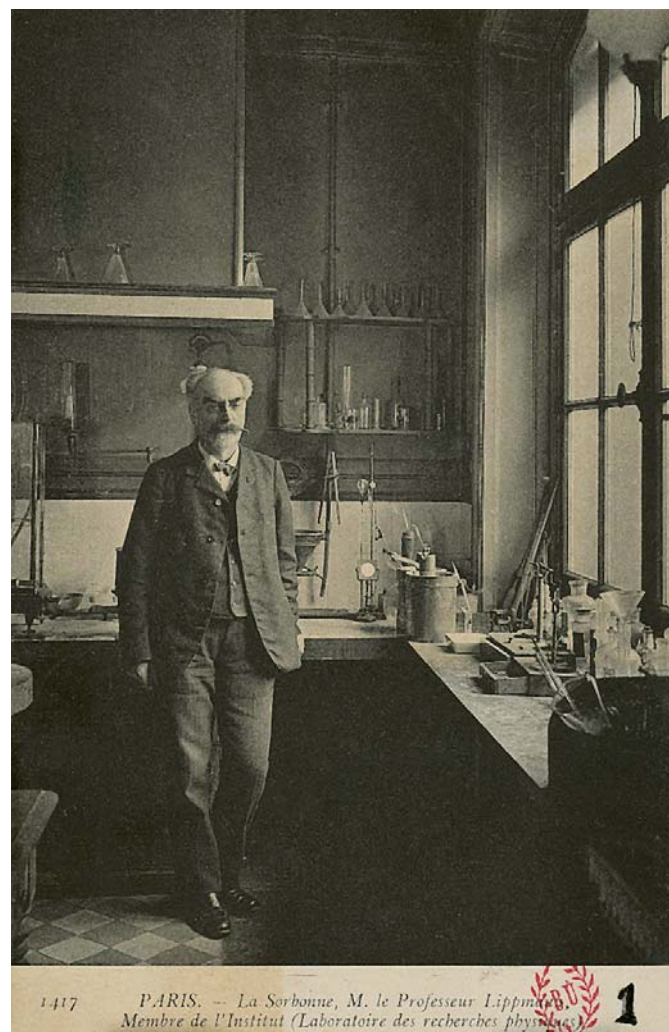
$$-\left(\frac{\partial \gamma}{\partial \mu_{KA}^\beta}\right)_{E_{(-)}, \mu_B} = \Gamma_{K^+ (H_2O)}^\beta \quad (24)$$

Gibbs adszorpciós egyenletéhez jutunk (lásd ott):

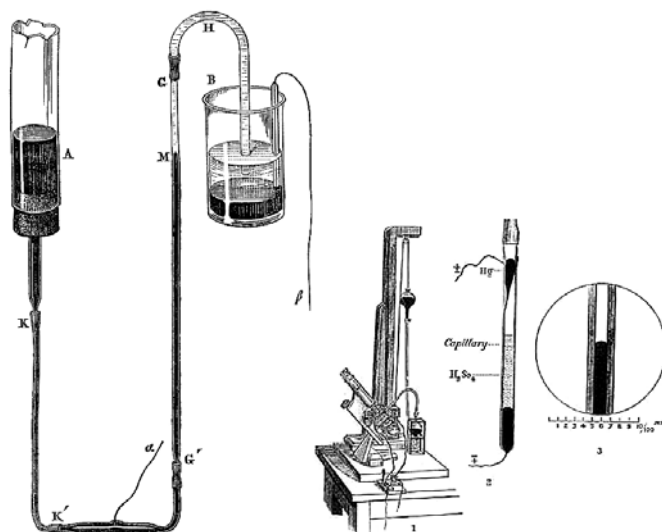
$$\Gamma_{K^+ (H_2O)}^\beta = -\frac{1}{RT} \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \ln a_{KA}^\beta}\right)_{p, T, E_{(-)}, \mu_B} \quad (25)$$

Jonas Ferdinand Gabriel Lippmann (Hollerich, Luxemburg, 1845. augusztus 16. – SS France óceánjáró, Atlanti-óceán, 1921. július 12.; 7. ábra) apja kesztyűkészítéssel foglalkozott. A család 1848-ban Párizsba költözött. Kezdetben édesanyja tanította, majd a Lycée Napoléon tanulója lett. 1868-ban felvették az École normale supérieure-re. 1873-ban németországi ösztöndíjas tanulmányútján Heidelbergben Kirchhoffnál elektromosságtannal foglalkozott, és szerzett doktorátust 1874-ben. Itt fejlesztette ki a kapillárelektrométer (8. ábra) első változatát. Ezek a kísérletek vezettek azután a felületi feszültség potenciálfüggésének meghatá-

7. ábra. Gabriel Lippmann (Bibliothèque de la Sorbonne)



1417 PARIS. — La Sorbonne, M. le Professeur Lippmann. Membre de l'Institut (Laboratoire des recherches physiques) 1



8. ábra. A Lippmann-féle kapillárelektrométer. A: higany egy üvegedényben, x: higanyval töltött gumiösszekötő egy üvegcsőhöz, amely egy platinaelektrodót (α) tartalmaz. Ez biztosítja a kontaktust az üvegcsőben (G', G) lévő M meniskusú higanyhoz. A higany felett helyezkedik el a görbült H csőben a vizes elektrolitoldat, a cső belemerül egy főzőpohárba, amelyben ugyanaz az elektrolitoldat található egy Hg-töcsa felett. A higanyelektrod a β vezetéken keresztül csatlakozik az áramkörhöz. A felületi potenciál változása az M meniskusú elmozdulását okozza [G. Lippmann, Ann. Chim. Phys. (1875) 5, 494]. A másik ábrán a teljes készülék a megfigyelő mikroszkóppal együtt látható

rozásához, megértéséhez, és a Lippmann-egyenlet levezetéséhez. Berlinben Helmholtz-nál is képezte magát. Lippmann 1878-ban nevezték ki a matematikai fizika professzorának a Sorbonne-on, majd a kísérleti fizikai tanszéket vette át, amelyet haláláig vezetett. Tanítványai közül kiemeljük Marie Curie-t [10, 11].

Lippmann számos más területen is fontos eredményeket ért el, például a fordított piezoelektromosság elméleti megjósolása sorolható ide. A legnagyobb sikere, amelyért az 1908-as fizikai Nobel-díjat kapta, az interferencián alapuló színes fényképezés kifejlesztése volt (9. ábra).

Tagja volt a Francia Tudományos Akadémiának (1912-ben elnöke) és a Royal Societynek. Kanadából hazafelé, ahol az Émile Fayolle marsall (1852–1928) vezette delegáció tagja volt, az SS France óceánjárón hunyt el.

9. ábra. Lippmann színes fényképpel luxemburgi bélyegen



A **Gibbs–Helmholtz-egyenlet** a Gibbs-energiát definiáló egyenletből következik (lásd ott):

$$dG = -SdT + Vdp, \quad (26)$$

tehát állandó nyomáson $(\partial G / \partial T)_p = -S$; ebből következik, hogy felírhatjuk a következő összefüggést, amit Gibbs–Helmholtz-egyenletnek nevezünk:

$$G = H - T \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p, \quad (27)$$

Megfelelően változásra is alkalmazhatjuk:

$$\Delta G = \Delta H + T \left(\frac{\partial \Delta G}{\partial T} \right)_p, \quad -\Delta S = \left(\frac{\partial \Delta G}{\partial T} \right)_p, \quad (28)$$

ahol ΔG , ΔH and ΔS a Gibbs-energia, az entalpia és az entrópia változása egy folyamat (pl. egy reakció során) állandó p nyomáson, T hőmérséklet mellett.

Mivel a cellareakció potenciálja ($E_{\text{cell}} = -\Delta G/nF$), a fenti egyenletbe behelyettesíthetjük a cellareakció potenciálját és annak hőmérsékletfüggését (mérhető mennyiségek). Ilyen méréssel mutatta ki Bugarszky István (1868–1941), hogy léteznek önként végbemenő endoterm cellareakciók (kémiai reakciók) is, azaz ΔG lehet negatív, ha ΔH kis pozitív értékénél $-T\Delta S$ nagyobb negatív érték [Magyar Chemiai Folyóirat 3, 38, Z. anorg. Chem. 14, 145 (1897)]. Ezzel végleg tarthatatlanná vált a Berthelot–Thomsen-féle affinitáselmélet.



10. ábra. Hermann von Helmholtz

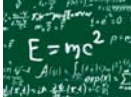
Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (Potsdam, 1821. augusztus 31. – Berlin, Németország, 1894. szeptember 8.; **10. ábra**) a 19. század egyik legnagyobb tudósa volt. A legkülönbözőbb tudományágakban, így a fiziológia, az optika, a zeneelmélet, az elektrodinamika, a matematika, a meteorológia, a termodinamika és az elektrokémia területén ért el kimagasló eredménye-

ket [12, 13, 14, 15]. Az emlékbélyegek tervezői is csak tevékenysége egy-egy szegmensét tudták felvillantani (**11. ábra**).



11. ábra. Helmholtz német bélyegeken

Édesapja a potsdami gimnáziumi tanára volt. Édesanyja, Carolin Penn Hermann fiát, aki „gyenge és csúnya gyerek volt (egy kicsit vízfejű) következetesen csodagyerekeknek tartotta” [12]. Tanulságos felidézni korai gyermekkorát. A hetvenedik születésnapján rendezett ünnepségen Helmholtz így emlékezett: „Hétéves koromig gyenge fiú voltam, a szobához, sőt igen gyakran az ágyhoz kötve. Szüleim sokat foglalkoztak velem; képeskönyvek és főleg építőkövek közt éltem mellettük. Korán kezdtem el olvasgatni, s így természetesen új élvezeteket ismertem meg (...) rossz emlékezőtehetségem volt (...) A legtökéletesebb emlékezetbeli segéd-eszköz azonban a jelenségek törvényének ismerete, amit először a geometriában tanultam meg gyermekjátékaimból az építőkövek révén.” Bújta a könyveket, kémiai kísérleteket végzett, optikai eszközöket készített. A gimnáziumot jó eredménnyel végezte el. Bár inkább a természettudományok érdekelték, apja kívánságára és anyagi okokból is, mert katonaorvosi ösztöndíjat kapott, orvosi tanulmányokat folytatott. A berlini Királyi Katonai Főiskolán a legnagyobb hatást Johannes Müller (1801–1858), a fiziológia professzora gyakorolta rá. Itt kötött életre szóló barátságot Emil Heinrich du Bois-Reymonddal (1818–1896), aki később Müller utóda is lett, akivel megbeszélte kutatásait és aki gyakorta javította is Helmholtz kéziratait. Müller több tanítványával – így Carl Ludwiggal (1816–1895), Rudolf Virchow-val (1821–1902) és Ernst Wilhelm Brückével (1819–1892), akikből a kor vezető fiziológusai lettek – is egész életében tartotta a kapcsolatot. 1842-ben kapta meg doktori diplomáját; disszertációját az ideganatómia



alpművének tekinthetjük. Orvosként kezdett dolgozni a potsdami gárdahuszároknál. Itteni tevékenysége hagyott időt, hogy élő szervezetekben tanulmányozza a hő és a munka kapcsolatát, valamint a munka során bekövetkező kémiai változásokat. Megfogalmazta az energiamegmaradás törvényét az izometabolizmus vizsgálata alapján 1847-ben („Az izmok tevékenységénél való melegfejlődésről”, „Az erő megmaradásáról”). Elég keserű vita bontakozott ki a prioritásról, mert egy másik orvos, Julius Robert Mayer (1814–1878) már 1842-ben publikálta ezt az alapvető megmaradási törvényt, sőt Joule is közzétette ezt a felismerést 1843-ban. Mayer elsőbbségét hamarosan Helmholtz is elismerte.

1848-tól Berlinben tanított anatómiát. 1849-től a Königsbergi Porosz Egyetemen tanított. Az emberi látás és hallás tudományos, fizikai vizsgálatával új tudományos irányokat indított el. Jellemző volt, hogy eszközöket is kifejlesztett, amelyek különböző változatait ma is használják az orvosok; ilyen volt például a szemtükör (1851). Mérté az idegimpulzusok terjedési sebességét is. Mint legtöbb új, határterületi munkája, ez is ellenállásba ütközött, és csak sokára fogadták el ezeket az alapvető eredményeit. A fizikusok a mérési módszert támadták, a filozófusok pedig kétségbe vonták, hogy a „szellemi történelm” időt igényelne.

1855-től a Bonni Egyetem anatómia- és fiziológiaprofesszora lett. A hidrodinamikai egyenletek integráljáról, az örvényekről írt tanulmányával messze megelőzte korát. 1858-tól a Heidelbergi Egyetemen lett fiziológiaprofesszor, ahol már egyre inkább fizikával foglalkozott. Itt jelentős volt az akusztika területén végzett munkája, de itt kezdte el elektrodinamikai kutatásait is. 1871-ben tért vissza a természettudományokhoz, elfogadva a berlini Humboldt Egyetem fizikaprofesszorságát. Elektromágneses vizsgálatai és javaslata indították el egyik tanítványát, Heinrich Rudolf Hertzet (1857–1894) azon az úton, amely a Maxwell által megjósolt elektromágneses hullámok felfedezéséhez vezetett, és amely később megteremtette a rádiózás lehetőségét. Tanítványai és munkatársai között számos későbbi nagy kutatót találunk, példaként álljon itt Max Planck (1858–1947), Wilhelm Wien (1864–1928), Albert A. Michelson (1852–1931), Wilhelm Wundt (1832–1920), Gabriel Lippmann, Henry A. Rowland (1848–1901) vagy Eötvös Loránd neve. Tanítványai inkább inspiráló hatását és a legfontosabb témák kiválasztása iránti érzékét értékelték, mint előadásait. Például Planck így emlékezett: „Dadogva beszélt, miközben egy kis noteszből kereste az adatokat, az volt az érzésem, hogy előadás alatt ő maga is legalább úgy unatkozik, mint mi” [16]. Ostwald véleménye is hasonló volt: „Hallgattam egy pár tanári előadását, s hangja és fáradt közömbös mozdulatai kétségtelenül elárulták, mennyire unatja őt az egész dolog. Viszont maga a felolvasás olyan korrekt és áttekinthető volt, hogy változtatlanul tankönyvbe lehetett volna illeszteni” [12]. Ennek a problémának Helmholtz is tudatában volt: „Előadásaimmal úgy álllok, hogy szakértők előtt tudományos kérdéseket száraz és elvont formában még meg tudok világitani, de laikus tömeget nyelvbeli fogyatékoságomnál fogva nem áll módomban lebilincselni.”

Helmholtz nevét viseli a *Helmholtz-energia* (régebben szabadenergia-függvény), amely $F = U - TS$, ahol U a belső energia, S az entrópia és T a hőmérséklet. $T =$ állandó, $V =$ állandó feltételek mellett használjuk. (Ezt a Gibbs-energiafüggvényénél később, de azt még nem ismerve vezette le.)

Sok elektrokémiai kísérletet is végzett, még a ma reneszánszukat elő tüzelőanyag-elemekkel is foglalkozott. Egy összefoglaló cikkben (12. ábra) Helmholtz három közleményét is hivatkozta a szerző. De megtalálhatjuk Lippmann is a névsorban, sőt William Ramsay (1852–1916) és Lord Rayleigh (1842–1919) nevét

12. ábra. Részlet Emil Bose tüzelőanyag-cellákról szóló összefoglaló cikkéből. Zeitschrift für Physikalische Chemie (1900) 34, 701–760.

is, akiket ugyancsak nem kifejezetten elektrokémikusként tartunk számon.

Ő alkotta meg az első elektrokémiai kettősréteg-modell is az 1850-es években, ezért használjuk a *Helmholtz-féle kettősréteg-modell*, a *Helmholtz-sík* elnevezéseket. Meg kell említeni, hogy Londonban 1881-ben a Faraday tiszteletére tartott előadásában felvetette, hogy az elektromosságnak is léteznie kell elemi részecskéjének.

Erdményeit számos kitüntetéssel ismerték el. 1883-ban nemességét kapott, innen a 'von' a nevében. Helmholtzot Kirchhoff-fal és Clausius-szal együtt az MTA külső tagjává választotta 1872. május 24-én.

IRODALOM

- [1] E. R. Cohen, T. Cvitas, J. G. Frey, et al. (eds), IUPAC Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry. 2006. 48, 57.
[2] Erdely-Grúz T., Schay G., Elméleti fizikai kémia. Tankönyvkiadó, Budapest, I. kötet, 1962. 498–513.; II. kötet, 1964, 85–88., 494–498.
[3] E. A. Guggenheim, Thermodynamics, North-Holland, Amsterdam London New York, 1993, 22–28.
[4] I. M. Klotz, R. M. Rosenberg, Chemical Thermodynamics. Wiley, New York, Chichester, 2000.
[5] Inzelt Gy., Az elektrokémia korszerű elmélete és módszerei I. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999. 116.
[6] H. A. Bumstead, Josiah Willard Gibbs. In: The collected works of J. Willard Gibbs. London, 1948.
[7] M. Magnusson (ed.), Chambers Biographical Dictionary, W&R Chambers, Ltd. Edinburgh, 1990.
[8] J. J. O'Connor, E. F. Robertson, Pierre Maurice Marie Duhem. MacTutor, University of St Andrews, Scotland, 2001.
[9] S. L. Jaki, Uneasy genius: the life and work of Pierre Duhem. Dordrecht–Boston, 1984.
[10] https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1908/lippmann/biographical/
[11] J.-P. Pier, J. A. Massard (eds), Gabriel Lippmann. Luxembourg, 1997.
[12] W. Ostwald, Helmholtz. In: Feltalálók, felfedezők, nagy emberek. (Fordította Kósa Miklós.) Révay-Kiadás. 1912. 99-176. o.
[13] D. Cahan (ed), Hermann von Helmholtz and the foundations of nineteenth-century science. University of California Press, Los Angeles, 1993.
[14] D. Cahan, Helmholtz: A Life in Science. University of Chicago Press, 2018.
[15] Goldziher V., Emlékbeszéd Helmholtz Hermann fölött. Orvosi Hetilap (1895) 51/6. Szemészet. 47–55.
[16] M. Planck, Tudományos önéletrajz. Válogatott tanulmányok. Gondolat, 1965, 41–58.



A titán-dioxid (TiO_2) a titán nevű fém természetben is előforduló oxidja. Finom szemcsés állapotban erősen szórja és visszaveri a fényt (beleértve az UV-sugarakat), ezért napvédő termékek gyakori összetevője. Előnye, hogy kémiaileg igen stabil, így fény hatására sem alakul át. A TiO_2 mikrométeres szemcséként fehér színű, de ha a szemcsék nanoméretűek (10–50 nm), akkor a bőrre kent napvédők nem képeznek fehér bevonatot. Nemcsak ezért használnak nano- TiO_2 -t a naptejekben, hanem azért is, mert ebben a mérettartományban hatásosabb fényvédelmet biztosít, mint a nagyobb részecskéket (200–500 nm) tartalmazó termékek.

A nano- TiO_2 -vel kapcsolatban számos aggály felmerült, miután széles körben elkezdték napvédő termékekben alkalmazni. Több kutatás szerint (laboratóriumi és állatkísérletes modelleken) képes felszívódni a bőrbe, és ott sejtkárosító, oxidatív folyamatokat katalizálni. További, célzottabb vizsgálatok viszont rámutattak, hogy emberi bőrön a nano- TiO_2 csak a bőr szarurétegébe képes bejutni, a mélyebb rétegekbe, és így a vérkeringésbe sem. A jelenleg érvényes álláspont szerint a korábbi, aggodalomra okot adó eredmények olyan kísérletekben születtek, amelyek az emberi bőrön való alkalmazás szempontjából nem relevánsak (a vér-agy gáton az agyba való bejutást például a tüdőbe permetezett nanorészecskékkel érték el). Az Európai Bizottság Fogyasztói Biztonsági Tudományos Bizottsága (Scientific Committee on Consumer Safety, SCCS) állásfoglalása szerint a nano- TiO_2 nem irritálja a bőrt, és karcinogén, mutagén hatására sincs bizonyíték. A nano- TiO_2 az EU kozmetikai szabályozása által is jóváhagyott UV-szűrő anyag. Az anyag legfeljebb 25%-os koncentrációban használható fényvédelemre naptejekben és -krémekben. Olyan termékekben, amelyek a tüdőbe is juthatnak (spray, por), alkalmazása nem javasolt, mivel biztonságossága nem alátámasztott, és állatkísérletek szerint gyulladásos folyamatokat indíthat el a tüdőben.

A szájon át elfogyasztott TiO_2 -vel kapcsolatos aggodalmak szintén nem újkeletűek, és döntően a vegyület potenciális rákkeltő hatásával kapcsolatosak. A vegyület főleg prooxidánsként fejti ki lehetséges daganatkeltő hatását. A TiO_2 genotoxikus hatása azonban ennél összetettebb: a sejtsztódási folyamat befolyásolásával is károsíthatja a DNS-t és a hibás szakaszok javításának megakadályozásával is kifejezi károsító hatását. A genotoxikus, potenciális (bélrendszeri) rákkeltő hatást pedig számos állatkísérlet megerősítette az elmúlt néhány évben.

Ezeknek a kutatási eredményeknek komoly következményei lehetnek, mivel a TiO_2 élelmiszer-adalékként (E171) számos termékben megtalálható. A vegyületet fehér színezékként használják drázsékban, rágógumikban, csokoládékban, különféle élelmiszer-bevonatokban és a fehér színű kapszulák nagy részének színezékeként is. Mivel a bélrendszerben nem alakul át, nem lép reakcióba semmilyen tápanyaggal, és változatlanul kiürül, sokáig teljesen veszélytelennek gondolták, és alkalmazását nem korlátozták értéértékek. A TiO_2 átlagos napi bevitele az élelmiszerekkel becslések szerint 0,2–5 mg/testsúlykilogramm.

A TiO_2 potenciális veszélyeivel kapcsolatos aggodalmak miatt a TiO_2 felhasználását élelmiszerekben és fogkrémekben 2020-ban betiltották Franciaországban. Az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (European Food Safety Authority, EFSA) is elvégezte az adatok értékelését, és 2021. május 6-án közzétett biztonságossági elemzése szerint a TiO_2 (bár egészen nagy dózisokban sem okoz mérgezési tüneteket) felhalmozódhat a szervezetben, és genotoxikus hatása nem zárható ki. Ilyen szempontból nem tehető különbség a nano- TiO_2 és a nagyobb részecskék között, így az EFSA véleménye, miszerint a TiO_2 nem biztonságos élelmiszer-adalékként, a vegyület minden formájára vonatkozik. A közeljövőben ennek megfelelően változik majd az EU-s és a hazai jogi szabályozás is, így az élelmiszerek fehérre színezésére a továbbiakban a TiO_2 nem lesz használható. Vannak vállalkozások, amelyek már léptek: az egyik nagy fánk sütő gyorsétterem éveken ezelőtt eltávolította a fánkok szórására használt porcukrot színező (!) TiO_2 -t az összetevők listájáról.

Csupor Dezső





Beck Mihály

Humor a tudományban

Sokak számára talán szentségtörésnek tűnhet a tudomány humoráról beszélni, hiszen a tudomány komoly dolog. Akik így vélekednek, azok valószínűleg nem ismerik a tudomány világát, és azt is elfeledik, hogy humort a nagyon komoly dolgokban is lehet találni, hiszen a humor legfontosabb forrásai a fonákságok és az ellentmondások, ilyenek pedig bőségesen akadnak a tudomány világában is. Arthur Koestler mély kapcsolatot lát a humor és a tudományos felfedezés között. [1] Mindkettőnek alapvető vonása a látszólag össze nem függő dolgok közötti kapcsolat felfedése. Természetesen nem lehet feladatunk a humor mélyreható elemzése, és nem törekedhetünk a megközelítő teljességre sem a tudomány humorával foglalkozó munkák áttekintésében, mindazonáltal válogatásunk nem teljesen önkényes, és a legfontosabb forrásokat igyekszik felhasználni.

A tudomány humorával foglalkozva illő, hogy mondanivalónkat osztályozással kezdjük. A leggyakoribb a tudománnyal, illetve művelőivel kapcsolatos anekdota. Egy önmagában is nagy családot jelent a tudományos abszurd humor, a koholmányoktól a versben írt, sőt megzenésített tudományos dolgozatokig. Ezekkel kissé alaposabban fogunk foglalkozni. Talán itt célszerű megemlíteni a tudományos spekulációkat, vagy legalábbis ezek egy részét, melyek komolykodva, de tulajdonképpen nem komolyan, és ezzel humoros hatást keltve foglalkoznak bizonyos tudományos megállapításokból eredő merész következtetésekkel. Hosszú múltra tekinthet vissza a tudomány világa fonákságainak szatirikus vagy ironikus bemutatása. Erre is mutatunk majd példákat. Humoros elemet jelenthetnek a tudományos vonatkozású szó- és képrejtvények, továbbá velős mondások, aforizmák. Sokszor minden írott anyagnál mulatságosabb a jelentése egy-egy rajznak. Néhányat ezek közül is bemutatunk.

Talán érdemes elgondolkodnunk azon, hogy a különböző humoros dolgok milyen eltérő reakciót váltanak ki belőlünk. Van, amin halkán vagy harsányan nevetünk, van, amin kacagunk, vagy éppenséggel csak kacarászunk, vagy „csak” mosolygunk. A tudományos humor tudományos igényű kutatói bizonyára összefüggéseket állapíthatnának meg az említett humor és nevetés kategóriák között, mi erre nem vállalkozhatunk.

A tudomány humorának irodalma

Az UNESCO folyóirata, az *Impact of Science on Society* 1969-ben egy egész számot szentelt a tudományos humornak. [2] A szerzők között egy magyart is találunk, az azóta elhunyt [3] kiváló humoristát és sportújságíró, Feleki Lászlót. Érdeemes lenne írását magyarul is megjelentetni. Érdekes anyagot találunk a Weber szerkesztette *A random walk in science* [4] és *Science with a smile* [5] című antológiákban és Read *Humour and humanism in chemistry* [6] című könyvében. Érdekes összefoglaló közleményt

■ Az írás eredetileg a Természet Világa 1996-os áprilisi számában jelent meg, most apró változtatásokkal közöljük.

írt Kohn, [7] a *Journal of Irreproducible Results* alapító szerkesztője.

Nagy hagyománya van a humoros tudományos folyóiratoknak, illetve folyóiratszámoknak. Valószínűleg az 1886-ban kiadott *Berichte der Durstigen Chemischen Gesellschaft* volt az első ezek közül. (Az eredeti, és máig is kiadott folyóirat a *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*.) Nálunk a Műegyetemnek három folyóirata is volt. Az Építésztechnológiai Kar hallgatói *A Megfagyott Muzsikusz*, a Gépészmérnöki Kar hallgatói *A Vicinális Dugóhúzó*, a Vegyésztechnológiai Kar hallgatói pedig a *Retorta Sziporka* című lapokat adták ki, meglehetősen rendszeresen. A Veszprémi Vegyipari Egyetem „sokévenként megjelenő humoros kiadványa” volt a *Kémcsőkefe*. Egyes érdekesebb humoros folyóiratszámok: a *Magyar Tudomány* egyetlen alkalommal, 1978-ban adta ki a *Fanyar Tudományt*, [8] a *Scientometrics* pedig alapító szerkesztőjének 60. születésnapja alkalmából, 1992-ben a *Psiometrics* című, humoros különszámát. [9]



1956-ban indult az első, és azóta is rendszeresen megjelenő humoros tudományos folyóirat, a *Journal of Irreproducible Results* (JIR). Ezt több további követte: *The Subterranean Sociology Newsletter*, a *Worm's Runner Digest*, a *Journal of Insignificant Research*, a *Journal of Polymorphous Perversity* és mások, de ismertségük meg sem közelíti a JIR-ét.

Anekdóták

A tudományt érintő anekdoták több gyűjteményét is megtaláljuk a magyar irodalomban. Ezek közül a legteljesebb Bisztray könyve, a *Jókedvű Magyar Tudósok*. [10] Sok érdekes, többé-kevésbé hiteles történetet találunk a *Kis Akadémia negyvenkét esztendeje az ezredik előadásig* c. kötetben. [11] A *Bűvár* című folyóiratnak, ha nem is rendszeresen, de volt egy „Vidám tudomány”



rovata, mely híres tudósok furcsaságait gyűjtötte. Persze ezek között a többnyire valós esetek és a sok jellegzetes „vándoranekdota” között számos akad, amelynek a tudománnyal való érintkezése csak arra korlátozódik, hogy szereplői tudósok, egyetemi tanárok, de a leírt eset tulajdonképpen bárkivel megtörténhetett volna. Szempontunkból természetesen azok az igazán érdekes anekdoták, melyekben magának a tudománynak van valamilyen szerepe. Következzék néhány ilyen, hitelesen megtörtént eset.

Az ötvenes években, legalábbis a szegedi egyetemen, az volt a szokás, hogy az elégtelen osztályzatot nem írták be az indexbe, hanem csak egy hosszú vonalat húztak a megfelelő helyre. Szabó Zoltán professzor, aki igazságos, de rettegetten szigorú vizsgáztató volt, kinyitotta az egyik vizsgázó indexét és azt mondta: „Kollega úr, a maga indexében kottázni lehetne!”

A tudósi szórakozottságnak voltam tanúja 1973-ban egy bécsi konferencián. Az előadók mikrofont, a mutatópálca helyett pedig az akkor még újnak számító fénymutatót (persze még nem lézerezt!) használtak. Az egyik előadó szórakozottságában a fénymutatóba beszélt, és mivel természetesen nem volt hangerősítés, bosszankodva jegyezte meg: „it is out of order”. A közvetlenül utána sorra került előadó a mikrofonnal próbálta a vetítőlámpán megjelent ábrán az éppen lényeges pontot megmutatni. Mivel ez – érthetően – nem sikerült, csak ennyit mondott: „something is wrong?”.

Egy belgyógyászprofesszor (Korányi?) a cukorbetegségről tartott előadást. Rámutatott, hogy a cukorbetegség vizeletében cukor van. Megjegyezte, hogy az orvosnak nem szabad undorodnia attól, hogy a vizeletben lévő cukrot ízleléssel kimutassa. Bemártotta az egyik ujját egy vizeletet tartalmazó edénybe, és megnyalta. Aztán azt mondta, hogy még az undor legyőzésénél is fontosabb, hogy pontosan figyeljük meg a dolgokat. „Ha alaposan figyeltek volna, akkor észre kellett volna venniük, hogy a mutatóujjamat mártottam a vizeletbe, de a gyűrűsujjamat nyaltam meg.”

Winkler Lajos, a budapesti tudományegyetem nemzetközi hírnevű analitikusa késő éjszakáig, sokszor hajnalig dolgozott Múzeum körúti laboratóriumában. Egy hajnalon hazafelé menet látta, hogy az utcseprő jobbra-balra csapkodva az utca szemetét nagy port csinál, de a szemetet nem takarítja el. Odaszólt az utcseprőnek: „Így az egész por ott marad!” Az utcseprő válasza: „Hát, amit az úr beszí?” Winkler az analitikai kémiai gondolkodás iskolapéldájaként említette ezt a feleletet tanítványainak.

Winkler egyik jelentős eredménye volt a tapasztalati úton nyert korrekciók alkalmazása a súly szerinti elemzésben. Ezek segítségével az elméletileg nem kezelhető zavaró tényezők hatása figyelembe vehető. Kolthoff, a század egyik meghatározó jelentőségű analitikai kémikusa egyik munkájának élére a következőt írta: „Die Theorie leitet – das Experiment entscheidet.” Winkler 1930-ban egy nemzetközi kongresszuson tartott előadásában egy kicsit módosította ezt a megállapítást: „Das Experiment entscheidet – die Theorie leitet – irre.” Félreértések elkerülésére meg kell jegyeznünk, hogy Winkler nagyon is támaszkodott az elméleti megfontolásokra.

Egy másik hiteles kollokviumi eset, Dániából. Az előzményekhez tartozik, hogy sok évvel az eset előtt Niels Bjerrum és Brönsted együtt pályáztak a koppenhágai egyetem kémiai tanszékeire. A tanszéket Brönsted nyerte el, a már nemzetközi hírvé Niels Bjerrumnak az állatorvosi főiskola katedrájával kellett beérnie. Jannik Bjerrum – Niels fia – később a koppenhágai egyetem nagy hírvé professzora, Brönstednél kollokvált. A kérdés olyan problémára vonatkozott, mellyel kapcsolatban Niels Bjerrum nagyon fontos eredményeket ért el. Jannik így kezdte feleletét: „Apám

szerint...” – ekkor Brönsted közbeszólt: „És a kedves édesanyjának mi erről a véleménye?”

Walther Nernst a berlini egyetemen a termodinamika főtételének tárgyalásakor a következőképpen „bizonyította”, hogy nem fedeznek fel negyedik főtételt: Az első főtételt hárman, Mayer, Joule és Helmholtz, a második főtételt ketten, Carnot és Clausius, a harmadik főtételt pedig egy tudós, jómagam fedezte fel.

Számos érdekes történet hőse Szilárd Leó, Niels Bohr és Robert W. Wood. Álljon itt néhány jellegzetes eset.

Szilárd Leó hosszú évek magfizikai kutatásai után biológiai problémákat kezdett el tanulmányozni. Meglátogatta Luria laboratóriumát, ahol fágkutatásokkal foglalkoztak. Luria akadozva kezdte a kutatások lényegének ismertetését: „... nem tudom, milyen ismereteket tételezzek fel” – Szilárd félbeszakította: „Tételezzem fel teljes tudatlanságot és határtalan intelligenciát.”

Bohrt meglátogatta egyik tisztelője, és meglepődve vette észre, hogy az ajtó felett egy lópatkó van felszegezve. „Bohr professzor, ön hisz ebben a babonában?” – kérdezte megdöbbenve. Bohr: „Természetesen nem hiszek, de azt mondják, hogy annak is szerencsét hoz, aki nem hisz benne.” (Nem ez a hiteles történet. Bohr hallotta ennek egy változatát, és úgy megtetszett neki, hogy maga is gyakran mesélte.) Wood, a világhírű amerikai fizikus nagyon kedvelte a meghökkentő megoldásokat. Nevéhez rengeteg érdekes eset fűződik, számos humoros írása is megjelent. Amikor a századfordulón nagy port vert fel Blondlot francia fizikus közlése az N sugarak felfedezéséről, számos kutató vallott kudarcot az új sugárzás kimutatásában. Egyre inkább az a vélemény terjedt el, hogy ilyen sugárzás nincs. A kegyelemdőfést Wood adta meg, aki meglátogatta Blondlot laboratóriumát. A sötétben végzett kísérletek során Blondlot meghökkentő pontosságú észleléseket mutatott, csak az volt a baj, hogy amikor Wood észrevétlenül kivette az N sugarak elhajlítására szolgáló alumínium-prizmát a készülékből, Blondlot zavartalanul folytatta méréseit. Egy másik alkalommal, amikor a különlegesen nagy felbontású spektrográfiai kísérleteihez használt és egy öreg csúriben tartott spektrográfjának az igen hosszú csöve bepókhálósodott, Wood a macskáját tolta be a csöbe, és a cica pompásan kitisztította a műszer csövét. [12] A módszer azonban nem terjedt el.

James Joyce, a neves ír regényíró, fiatalkorában egyszer kölcsönt kért egy ismerőstől, Yeats apjától. Az öregúr az mondta, hogy nincs pénze, és ha lenne is, Joyce biztos itálra költené. Joyce így válaszolt: „Hallotta ön a hírvé Occam borotvájának? Az már teljesen mindegy, hogy mire szándékozom költeni a pénzt, ha úgysem adna.”

A tudományos abszurd humor

Humoros célzatú a tudományos hitelre tulajdonképpen igényt nem tartó koholmány. Talán a felültetés vagy a beugratás szó fejezi ki legjobban a lényegét. Ennek valószínűleg az egyik első példája az a közlemény, amely 1840-ben Liebig tekintélyes folyóiratában, az *Annalen der Chemie und Pharmacie*-ben jelent meg. [13] A szerző a szerkesztőhöz intézett, franciául írt levelében arról tudósít, hogy a mangán-acetátból az alkotórészeknek klór-atomokkal való fokozatos kicserélése révén sárga lemezekből álló, a klór-hidrátéhoz igen hasonló anyagot állított elő. Az elemzésből az is kitűnt, hogy az anyag kizárólag klórt és vizet tartalmazott. A gőzsűrűségméréssel megállapította a molekulatömeget is, és az új anyag képletét a következőképpen adta meg: $\text{Cl}_2\text{Cl}_2 + \text{Cl}_8\text{Cl}_6 + \text{Cl}_6 + \text{víz}$. Az érdekes felfedezést ismertető levelet S.C.H. Windler nevű szerző írta alá. A közleményhez Liebig egy aláírat-



lan lábjegyzetben hozzáfűzte, hogy Londonban máris nagy kereslet mutatkozik az új vegyület iránt, melyet főleg hálósipkák és alsónadrágok fehérítésére használnak. Az olvasók többsége természetesen még a Schwindler-aláírás megpillantása előtt gyanította, hogy tréfáról van szó. A levelet Wöhler, a korszakalkotó munkásságú német vegyész írta, és a Dumas által kifejlesztett, és teljesítőképességében messze túlértékelt kémiai típuselméletet akarta kifigurázni. Wöhler eredetileg nem szánta levelét a nyilvánosságnak, azt csak saját szórakoztatására írta, de Liebignek annyira megtetszett, hogy közölte folyóiratában. Kétségtelen, hogy a levél jó szolgálatot tett a típuselmélet korlátainak szélesebb körű felismerésében.

Nehezebb az indítékát megtalálni egy 1955-ben a *Chemistry and Industry*-ben megjelent cikknek. [14] Az oktahidro-hexavas sztereokémiája egy molekuláris „tutaj” című rövid közlemény bevezetésében röviden áttekinti az akkoriban megállapított érdekes sztereokémiai szerkezeteket, melyeket igen érzékeltesen neveztek el (székforma, molekuláris szendvics, árbc, pillangó, zászlórúd stb.), majd közli, hogy az újonnan felfedezett oktahidro-hexavas (Fe_6H_8) röntgendiffrakciós vizsgálata egy új sztereokémiai szerkezet, a tutajforma bevezetését indokolja. A bevezető részben hivatkozott cikkek az illetékes szakkörök által nagyra értékelt közlemények, de az Fe_6H_8 felfedezésére való hivatkozás, a továbbiakkal együtt, teljesen légből kapott. Az olvasót csak az utolsó bekezdés győzi meg egyértelműen, hogy tréfáról van szó. Ebben ugyanis az új vegyületnek a patkányok „erkölcsi ellenállási tényezőjére” gyakorolt hatásának meghatározására irányuló kísérleteit ismerteti a szerző, az állítólagos Alonzo S. Smith, Dublinból. Az április elseje táján megjelent dolgozat valószínűleg azt a szokást akarta kifigurázni, hogy a különböző molekulaszervezeteket a mindennapi életből vett formákra utaló nevekkkel akarták jellemezni. (Alonzo A. Smith valójában John T. Edward dublini kémikus álneve – a kezdőbetűk egybeolvasva, legyenhőbbben, szamarat jelentenek.)

A köznap kifejezések tudományos terminusokként való alkalmazásának sok komikus hatást keltő példáját taglalja Kiss Levente dolgozata. [15] A különböző kémiai szerkezeteknek szinte minden képzeletet felülmúló sokfélesége miatt egyébként nem is olyan egyszerű egy bizonyosan élő nem állítható molekulát kitálcálni. A molekuláris tutaj analógiájára írhatott volna a szerző például egy hatvan szénatomból álló molekuláris futball-labdát is, melyet aztán 1985-ben felfedeztek és 1990-ben élő is állítottak!



A 2000. évi fizikai Ig Nobel-díjat Andre Geim és Michael Berry kapta egy élő béka mágneses levitációjáért
(Lijnis Nelemans, CBY-SA 3.0)

Érdekes felhívni az olvasó figyelmét, hogy a tudományos folyóiratok április elsejei dátummal megjelenő számainak cikkeit gyanakvással kell olvasnia, mert az ilyenekben gyakorta jelennek meg beugrató célzatú cikkek. (A *Physical Review* 1948. április 1-jei számában megjelent dolgozat, melynek szerzőiként Alpher, Bethe és Gamow neve volt feltüntetve, éppenséggel nem volt ap-

rilisi tréfa, hiszen az ún. „big bang” elmélet alapvetése volt. A dolgozatnak azonban csak Alpher és Gamow voltak a szerzői, Bethe nevét tényleg csak a tréfa kedvéért írták oda. A szerzők Bethe neve mellé kéziratukban odaírták, hogy „in absentia”, ez lemaradt a megjelent dolgozatban.)

A *The Analyst* című folyóirat egyik elbocsátásban lévő munkatársa, bosszúból, egy nem létező folyóiratban „megjelent” közlemény kivonatát csempészte bele. [16] A közlemény címe: „A balra forgató jégkristályok toxikológiai jelentősége.” Néhány részlet a képtelenségeket halmozó cikkből:

„Moussewitz (Arch. Pchy. u. Norm. 199, 276, 1933.) hókristályokat bombázott izoklonikus ciklotronnal a meg spektrális tartományba tartozó hullámhosszakat használva, és szabálytalanságokat észlelt a jégkristályok extinkciós szögében, amikor azokat terma-részecskékkel sugározta be. ... A csapvizet tömegspektrumterrel elemezték, hogy pontosan rögzítsék a berillium koncentrációját, hogy az literenként 0,0067 μg -nál kevesebb legyen, különben a terma-részecskék abszorbeálódnak, és szabálytalan eredményeket nyerne. ... A kristálykeverék ($n_D = 1,333$) vizsgálata polarizált fényben azt mutatja, hogy a monoklin túszerű kristályok balra, a hexagonális lemezek jobbra forgattak. Ezeket el lehetett választani egymástól etil-alkoholos kezeléssel, amikor is csak a balra forgató kristályok oldódtak fel. ... Kvantitatív toxicitási vizsgálatok azt mutatták, hogy a balra forgató jég toxicitási indexe +3,45, míg a jobbra forgatóé -3,45; így a közönséges jég olvadásakor a két anyagnak racém, nem mérgező keverékét adja. A balra forgató kristályokat állatoknak 10 mg/kg adagokban parenterálisan injekciózva gasztritisz, hasmenés, gyors pulzus alakult ki, szemük kidülledtek, és rendkívül ingerlékenyekké váltak.”

Az ilyen jellegű tudományos koholmányok természetesen csak a területen járatosak számára humorosak, csak azok számára világos, hogy nem komoly, hanem csak komolykodó, csúfondáros az írás. Amikor a *Természet Világa* 1994. áprilisi számában megjelent „A hidegfúzió rejtélyének megoldása” című írásom, [17] még szakmabeliek is kérdezték, hogy tréfáról van-e szó, vagy esetleg van valami alapja a leírtaknak.

Podcast Episode #1070: “Kissing and Income Inequality”
Sunday, May 30th, 2021



The Ig Nobel Prizes honor achievements that make people LAUGH, then THINK.

Persze egyértelmű a dolog, ha az adott írás az említett humoros tudományos folyóiratok valamelyikében jelenik meg. Ilyen például a *JIR*-ben megjelent közlemény egy új fogamzásgátló szer, a NO-Acetol felfedezéséről. [18] Ennek a vegyületnek gyűrűs a szerkezete, és ami a lényeges, minden helyzetében NO-csoportot tartalmaz. A felfedezés nagy figyelmet keltett, és a szorgos kutatók további érdekes dolgokat derítettek ki. Bizonyos reakciók révén „előállítottak” egy nyílt láncú származékot, melyet bizonyos elemekkel (amerícium, titán, rénum, deutérium) sikerült stabilizálni. Így nyerték a No-Am-Tired-ol nevű vegyületet. [19] (Sajnos a tréfa lényege lefordíthatatlan, hiszen nem írhatjuk, hogy Nem-acetol, és Nem-Fáradt-Vagyok-ol!)



Arra is van példa, hogy a tréfának szánt közleményt a szakemberek is komolyan veszik. Beck, Bethe és Riezler a proton és elektron tömegviszonyának teljesen abszurd értelmezését küldték be a *Die Naturwissenschaften* című folyóiratnak, ahol az meg is jelent. [20] Ennél cifrább eset történt Crick és Orgen dolgozatával, [21] mely az *Icarus* című folyóiratban jelent meg. Ebben azt fejtik ki, hogy az élet nem a Földön keletkezett, hanem annak spóráit valamely távoli bolygó lakói küldték ide több milliárd évvel ezelőtt, és azokból fejlődött ki az egész mai földi élővilág. Ezt a cikket a neves szerzők tulajdonképpen a maguk szórakoztatására írták. [22] A tudományos kritikákra válaszul azonban nem ezt mondták, hanem Crick egyre több érvet kísérelt meg az elmélet, az ún. irányított pánspermia mellett felsorakoztatni. Végül egész könyvet írt erről az elképzelésről, melyben azért lényegében jelzi annak teljes valószínűtlenségét. [23]

Más típust jelent a tudományos fantáziálás, melyben a szerző egyértelműen kifejezésre juttatja a megállapítás valószínűtlenségét, és amelynél a humor forrása az okoskodás teljesen meghökentető volta. Az ilyenfajta munkák egyik összefoglalása a *The Scientist Speculates* című kötet. [24] David Jones a Newcastle-i Egyetem fizikai kémikusa, Daedalus álnéven, hosszú évek óta ír hétről hétre rövid, elképesztő tudományos eszmefuttatásokat előbb a *New Scientist*, jelenleg pedig a *Nature* című folyóirat számára. Sajnos, ezek a megfontolások meglehetősen bonyolultak, tulajdonképpen csak a szűkebb szakterületek ismerői számára élvezhetők.

A tudományos spekulációk közlésére 1978-ban külön folyóiratot is alapítottak, a *Speculations in Science and Technology*, melyben azonban a nagyon fantáziadús, és más folyóiratban aligha közölhető dolgozatokat előzetesen lektorálják. Érdekes lenne egy-egy, a szerkesztőség által visszautasított dolgozatot is elolvasni!

Úgy vélem, hogy a tudományos abszurd humor körébe tartoznak a dolgozatok közreadásában igen ritkán jelentkező végletes és nyilván az olvasó meghökentését vagy éppen megbotránkoztatását célzó megoldások.

A tekintélyes *Journal of Organic Chemistry*-ben egy hosszú közlemény jelent meg – időmértékes versben írva. [25] A szerkesztő lábjegyzetben közölte, hogy a jövőben csak a szokványos prózában írt cikkeket fogadják el közlésre.

A *Journal of Histochemistry and Cytochemistry* című folyóiratban pedig a versben írt munkának a kottáját is közölték. [26] A szerző egyébként munkáját egy konferencián saját gitárkíséreltével dalolta el!

Talán e kategóriába sorolható a jókedvű diáknóta is:

Minden vízbe mártott test,

Kisangyalom;

A súlyából annyit vesz,

Kisangyalom;

Mint amennyi az általa

Kiszorított víz súlya,

Kisangyalom.

Teller Ede nagyszerű fizikakönyve [27] egyik fejezete mottójául adta a versikét!

Aligha jelenhetett volna meg máshol, mint a *Journal of Applied Behavior Analysis* című folyóiratban az a közlemény, melynek csak címe, szerzője, és – lábjegyzetben – egy lektori vélemény (?) szerepelt, szövege pedig egyáltalán nem volt. [28]

A tudományos tragikomédia

David Jones és sokan mások, akik szárnyaló tudományos spekulációkat közölnek, természetesen tisztában vannak azzal, hogy

megfontolásaikban hol ér véget a tudományosan értelmezhető, és hol kezdődik a valóságtól elrugaszkodott fantáziálás. Az sem lehetetlen, hogy az elképesztő ötletek között lesznek olyanok, melyek érdekes és fontos tudományos felfedezések csíráiként szolgálhatnak. Sajnos számos példát ismer mind a humán, mind pedig a természettudományok története, melyek a nem elégséges ismeretek, a teljesen fegyelmetlen és kritikátlan gondolkodás, a természettudományok esetében pedig a rosszul berendezett kísérletek miatt a korszakalkotó új eredményeket elérni szándékozók kerülnek komikus és mégis szánandó helyzetbe. A meg nem értett tudós, ha eredményei valóságok, és csupán a kortársak korlátoltsága az akadály elismerésének, tragikus alak. Sajnos ilyet is ismer a tudománytörténet, elég csak Semmelweisre gondolnunk. A legtöbb esetben azonban a merőben újjal szembeni szinte törvénytörő ellenállást a szükséges ellenőrző vizsgálatok nyomán hamarosan az értékelés és az elismerés váltja fel. Hasonlíthatatlanul gyakoribb az az eset, amikor bizonyítottan megoldhatatlan feladattal kíván valaki megbirkózni. Ilyenek a szögharmadolók és a környégszögesítők, és bizonyos fenntartásokkal, az örökmozgót fabrikálók. A jelzett különbségtételt az indokolja, hogy míg a szögharmadolós és a környégszögesítés problémájának matematikailag bizonyított a megoldhatatlansága, az örökmozgó „csak” a termodinamika főtételével áll ellentétben, amelyek viszont tapasztalati tényekből fakadó általánosítások.

A tragikomikus örökmozgósok iskolapéldája Stefan Marinov bolgár fizikus, aki – számomra nem pontosan ismert okok miatt és körülmények között – 1977-ben kényszerült hazáját elhagyni. Több országból is kiutasították, majd Ausztriában telepedett le, de nem kapott támogatást kutatásaihoz. Egy Graz melletti faluban dolgozott „feketén”, mint istállószolga, és szabadidejében építette örökmozgóit, írta dolgozatait és könyveit. Dolgozatait azonban egyetlen komoly folyóirat sem fogadta el közlésre, bár egyik-másik szerkesztőt azzal is megfenyegette, hogy felgyújtja magát valamelyik követség előtt, ha dolgozata közlését visszautasítják. Néhány alapvető megállapítását a relativitáselmélet abszurd voltáról és a perpetuum mobiléről azután többoldalas fizetett hirdetések formájában közölte a *Nature*-ben és a *New Scientist*-ben.

1986-ban Stockholmba utazott, hogy részt vegyen egy nagy nemzetközi tudományos konferencián. Azonban, beutazási engedély híján, a svéd hatóságok nem engedték meg, hogy elhagyja a repülőteret, és visszatoloncolták Ausztriába. Marinov a *Nature*-ben tette közzé fizetett hirdetés formájában a Fizikai Nobel-díj Bizottság elnökéhez intézett levelét, melyben nemcsak üldöztetését írja le, hanem elméleteinek lényegét is ismerteti. Egy részlet a levélből: „... az elektromágnesesség (felfedezése) után 160 évvel én vagyok az egyetlen ember, aki megérti a mágnesesség lényegét. És engem üztek ki barbár módon abból a városból, amelyik a Nobel (díj) Bizottság székhelye. Rettenetes! Hihetetlen!” Levelét azzal fejezi be, hogy elvárja Gusztáv király bocsánatkérését Svédország méltóságának megóvása érdekében. [29] *Az igazság tövises útja* című kétkötetes könyve [30] részletesen tartalmazza a különböző szerkesztőségekkel folytatott levelezését is. Ezekből a kötetekből az is kiderül, komolyan remélte, hogy az 1983. évi fizikai Nobel-díjat neki ítélik, továbbá hogy meglehetősen rossz véleménnyel van a többi örökmozgós munkájáról. Marinov nyilvánvalóan egy téveszme áldozata. Hihetetlen és képességeivel egyáltalán nem arányos ambíciók feszülnek benne. Képtelen megfontolásainak kritikus elemzésére, és kudarcaiért a tudományos világ konzervatívizmusa okolja, magát egy 20. századi Galileinek tartva.



A tudomány világ ironikus, szatirikus bemutatása

A legkegyetlenebb szatírákat korának tudományos világáról Swift írta a *Gulliver utazásaiban*. [31] A lagadói akadémia bemutatásánál maróbban talán azóta sem írtak a tudósokról. Sajnos a *Gulliver* megjelenése óta eltelt több mint 250 év alatt nem sokat változott a közfelfogás a tudományról és a tudósokról. A lagadói tudósok által vizsgált problémák egy része érdektelen, másik részük megoldhatatlan, minden látogatótól pénzt kunyerálnak, mert hivatalos támogatásuk messze nem elegendő.

Kedves, ironikus rajzát adja a tudományos életnek Dévényi Tibor könyve. [32] Remek humoreszketek írt a tudományos életről, különösen pedig annak vadhajtásairól (spiritizmus, grafológia, bicsérdizmus stb.) Karinthy Frigyes. [33] Az angol – de nem csupán az angol – egyetemek életének fonákságait mutatja be William Cooper *Professzor az uborkafán* c. regénye. [34]

Jó néhány életrajz és önéletrajz nyújt lehetőséget, hogy hiteles képet alkossunk a tudomány belső világáról, annak olykor tragikus, de gyakran humoros elemeiről. Ilyenek például Watson remek könyve, *A kettős spirál*, [35] Feynman két pompás önéletrajzi kötete [36,37] és Moss könyve Szent-Györgyi Albertről. [38]

Velős mondások

Néhány tudományos vonatkozású „Murphy-törvény”: [39] Ha a kutatást nem érdemes elvégezni, akkor jól végezni sem érdemes. Ha eleget kutatsz, idővel alá tudod támasztani az elméletedet. Ha a tények nem vágnak egybe az elmélettel, meg kell szabadulni tőlük. (Érdemes azonban emlékezni Joliot-Curie egy mondására: Minél távolabb áll egy kísérlet eredménye az elméleti várakozástól, annál közelebb van a Nobel-díjhoz.) Tévedni emberi dolog, de igazán összekutyulni valamit csak számítógéppel lehet. A legérdekesebb kísérleti eredmények megismételhetetlenek. Minél rövidebb a részecske élettartama, annál többbe kerül létrehozni.

Feleki László néhány aforizmája: [40] Az asztronómiának az asztrológiával szemben az a hátránya, hogy a napfogyatkozástól kezdve, a csillagok leendő helyén át az üstökösök mozgásáig nemcsak hogy mindent megjósol, de jóslatai tudományos pontosságukkal, törvényszerűen, unalmasan valóra is válnak. Egyre többet tud, és egyre többet nem tud az ember. A tudós még abban sem hisz, amit tud. Az igazi tudós a saját elmélete alatt vágja a fát. A közelmúltban, a kémiai nevezéktannal foglalkozva, úgy éreztem, hogy ma könnyebb egy bonyolult szerkezetű új vegyületet előállítani, mint szabatosan elnevezni.

Ismeretlen a szerzője a következő, abból az időből származó mondásnak, amikor még megkülönböztették az egyetemi rendes és rendkívüli tanárokat: A rendes tanár nem tud semmi rendkívülit, a rendkívüli tanár nem tud semmi rendeset.

A tudományos vonatkozású aforizmák legteljesebb gyűjteményét Mackay adta közre. [41]

Karikatúrák

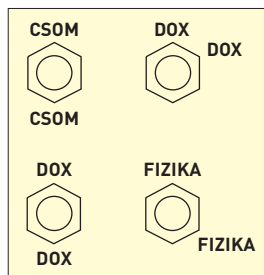


Kép szöveg nélkül (*The New Yorker*, 1963)

Mind a tudományos, mind pedig a köznapis folyóiratokban nagy számban találhatunk tudományos vonatkozású rajzokat, karikatúrákat. A legnevesebb és legtermékenyebb rajzolóik közül Sidney Harris, akinek kötetre való tudományos vonatkozású rajza jelent meg. [42]

(Néhány karikatúráját és egy cikkét a *Természet Világa* közölte. [43]) Az itt bemutatott rajz eredetileg 1963-ban a *New Yorker*-ben jelent meg, később pedig Bent termodinamikai könyvének [44] belső címlapjára tette. A felfelé görgő lavina elől menekülő ember képtelen látványa a második főtétel érvényét szemlélteti a természetes folyamatok irányáról.

Rejtvények



Az elemek vegyjelének kombinációi, a tudományos műszavak köznapi jelentésével kapcsolatos ötletek megannyi lehetőséget kínálnak humoros jellegű rejtvények, feladványok megszerkesztésére. Az itteni négy rejtvénynek nem adjuk meg a megfejtését, aligha akad olvasó, aki azt ne találná ki azonnal. Némi ügyeskedéssel azonban jobb és nehezebb rejtvények is kiagyalhatók. ●●●

IRODALOM

- [1] Koestler Arthur: The Act of Creation. Dell Publishing Co., New York, 1964.
- [2] Impact of Science on Society (1969) XIX, 223–230.
- [3] Feleki L.: Impact of Science on Society (1969) XIX, 279–290.
- [4] Weber, R. L.: A Random Walk in Science, Crane Russak & Co., New York, 1973.
- [5] Weber, R. L.: Science with a smile, Institute of Physics Publishing, Bristol, 1992.
- [6] Read, J.: Humour and Humanism in Chemistry, G. Bell, London, 1957.
- [7] Kohn, A.: Interdisciplinary Science Reviews (1982) 7, 309–324.
- [8] Fanyar Tudomány. A Magyar Tudomány különszáma, 1978.
- [9] Psientometrics, a Scientometrics különszáma, 1993.
- [10] Bisztray Gy.: Jókendvű Magyar Tudósok, Gondolat, Budapest, 1972.
- [11] Bartha L., Förster R.: A Kis Akadémia negyvenkét esztendeje az ezredik előadásig (1899–1941), A Kis Akadémia kiadása, Budapest, 1941.
- [12] Seabrook, William: Dr. Wood. Modern Wizard of the Laboratory, Harcourt, Brace & Co. New York, 1912.
- [13] Windler, S.C.H.: Annalen der Chemie und Pharmazie (1840) 33, 308.
- [14] Smith, A. S.: Chemistry and Industry (1955) 353.
- [15] Kiss L.: Természet Világa (1991) 122, 176.
- [16] Beeman, J.: The Analyst (1944) 69, 97.
- [17] Beck M.: Természet Világa (1994) 125, 190.
- [18] X. Perry Mental: J. Irrepr. Res. (1965) 13, 62.
- [19] Lepins, A.: J. Irrepr. Res. (1965), 14, 47.
- [20] Beck, G., Bethe, H., Riezler, W.: Die Naturwissenschaften (1931) 2, 38.
- [21] Crick, E., Orgel, L.: Icarus (1973) 19, 344.
- [22] Landsburg, A., and S.: In Search of Ancient Mysteries, Transworld Publishers, London, 1974.
- [23] Crick, E.: Life Itself, Simone & Schuster, New York, 1981; magyar nyelvű kiadás: Az élet mikéntje, Gondolat, Budapest.
- [24] Good, I. J.: The Scientist Speculates, Heinemann, London, 1962.
- [25] Bunnett, J. R., Kearley, E. J.: J. Org. Chem. (1971) 36, 134.
- [26] Shapiro, H. J.: J. Histochem. Cytochem. (1077) 25, 976.
- [27] Teller E.: A fizika nagyszerű, mert egyszerű, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1993.
- [28] Upper, D.: J. Appl. Behav. Anal. (1974) 7, 497.
- [29] Marinov, S.: Nature (1986) 322, 6081–6082.
- [30] Marinov, S.: The Thorny Way of Troth, Documents on the process of restoration of the absolute space-time conceptions, East–West, Graz, 1982. Marinov, Stefan: The Thorny Way of Truth. Part II. Documents on the insvntion of the perpetuum mobile, on the centurial blindness of mankind, and on its frantic perseverance in it, East–West, Graz, 1986.
- [31] Swift, J.: Gulliver utazásai, Pálóczi Horváth György fordítása, Az Est, Budapest, é. n. A lagadói akadémia leírása: 211–226. oldal.
- [32] Dévényi T.: Dr. Ezésez Géza karrierje, Gondolat, Budapest, 1975.
- [33] Karinthy E.: Az egész város beszél, I–IV kötet, Szépirodalmi, Budapest, 1958.
- [34] Cooper, W.: Professzor az uborkafán, Európa, Budapest, 1962.
- [35] Watson, J. D.: A kettős spirál, Gondolat, Budapest, 1968.
- [36] Feynman, R. P.: Surely You're Joking, Mr. Feynman! W. W. Norton & Co., New York, 1985.
- [37] Feynman, Richard P.: What do you care what other people think? W. W. Norton & Co., New York, 1985.
- [38] Moss, R. W.: Free Radical, Paragon House Publishers, New York, 1988.
- [39] Bloch, A.: Murphy Törvénykönyve, Gondolat, Budapest, 1988.
- [40] Feleki L.: Mindenféle – Híres Emberek, Magvető, Budapest, 1966.
- [41] Mackay, Alan L.: A Dictionary of Scientific Quotations, Institute of Physics Publishing, Bristol, 1992.
- [42] Harris, S.: What's So Funny About Science, W. Kaufman, Inc., Los Altos, California, 1980.
- [43] Harris, S.: Természet Világa (1991) 122, 402.
- [44] Bent, H. A.: The Second Law, Oxford University Press, New York, 1965.



Braun Tibor

■ ELTE Kémiai Intézet, MTA Könyvtár és Információs Központ | dr.braun.tibor@gmail.com

Húsevő növények molekuláris metabolizmusa

Létfenntartáshoz előállított élelem

Előszó

Talán furcsának, sőt, meglepőnek tűnik, hogy a húsevő növények századok óta érdeklik a világot, mert ezek a figyelemre méltó növények adaptálódtak ahhoz, hogy túléljék a táplálékban szűkös körülményeket. Ennek érdekében áldozatul ejtenek és elfogyasztanak rovarokat, ízeltlábúakat és más, kisebb gerincteleneket, amelyekből szervesen tápanyagokat, különösen nitrogént és foszfort állítanak elő. [1] Különböző zárt vagy zárható formájú levelekkel, esetleg csápjaikkal rovarok és más ízeltlábúak elejtésére képesek. Ezeket metabolizálják (megemésztik), majd a képződött folyadékterméket magukba szívják növekedésük és szaporodásuk érdekében. A levelek tulajdonképpen csapdaként, kelepceként alakulnak ki és működnek. A húsevő növények 10–80% nitrogént tudnak kivonni a csapdába ejtett áldozataikból. [2] A zárhatóvá tehető levelek akkorák lehetnek, hogy a növények kisebb békákat vagy egereket is magukba tudnak fogadni és megemésztve elfogyasztani.

Bevezetés

Charles Darwin volt az első, aki a viktoriánus Angliában (1875) publikált *Insectivorous plants* című könyvében kimutatta, hogy húsevő növények emésztő fluidumot (folyadékot) bocsátanak ki nitrogént tartalmazó élőlények (főleg rovarok) befogására és feldolgozására, ezáltal megalapozva a húsevő növények mindmáig tartó kutatását. Jelenleg több mint 650 húsevő növényfajta ismeretes, többségük olyan ökoszisztémában él, amiben bőséges a napfény és a víz, például lápokban, mocsarakban, és vizes, sziklás területeken. [3] Lévén, hogy ezúttal a botanika szerepe csak másodlagos, a húsevő növények felsorolására nem

kívánunk kitérni, de példaként egy húsevő növény családot, a szegfűvirágúak rendjébe tartozó kancsókat röviden megemlítünk. A kancsóka vagy kancsóvirág (tudományos neve, a *Nepenthes* görög eredetű: né = tagadó előtag, penthes = bánat, szomorúság) a szegfűvirágúak (*Caryophyllales*) rendjébe tartozó kancsókafelek családjának egyetlen nemzetsége. Nevét a rovarfogás céljaira kancsó alakúvá módosult levelekről kapta (1. ábra). Ez a trópusi indás faj Dél-Kínában, Indonéziában, Malaj-



1. ábra. A kancsóka húsevő növény viráglevele (csapdája)

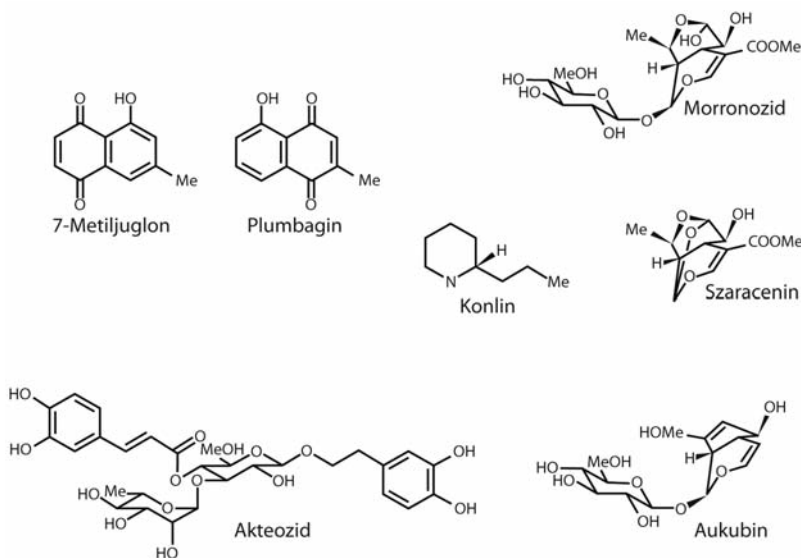
ziában és a Fülöp-szigeteken honos. A kancsóka a harmatfűlödőkéből származhatnak, eddig kb. 160 kancsóka családot azonosítottak. [4, 5]

Emésztési mechanizmus

A húsevő növények többféle módon vonzzák magukhoz a prédát. Például a kancsóka a nektárral való édesgetést, a nagy szájnnyílást, valamint virágillat terjesztését használja. Csalogatási lehetőség még CO₂-

gradiens kialakítása is a levélcsapda körül. [6] Bizonyos fajok, mint az *N. rafflesiana*, a levélcsapdában a zsákmány helyben tartására viszkoelasztikus, ragacsos fluidumot tartogat. A kancsóka számos rovar, legtöbbször hangyákat zsákmányol. A kancsóbeli fluidum általában savas, 2–6 pH-jú annak érdekében, hogy megkönnyítse a préda enzimes lebontását. Az emésztési mirigyek számos enzimek bocsátanak ki, például proteázokat, kitingázokat, RNS-ázokat és foszfatázokat. [4] Más fehérjék is hozzájárulhatnak a zsákmány bomlásához. Ilyenek például a béta-D-xilozidázok. [7] További fehérjék feladata a húsevő növények védelme a patogének ellen. Ezeket patogénkapcsolatú fehérjéknek nevezik. [8] Bizonyos viták vannak a húsevő növények emésztőfolyadékaiban talált enzimek eredetéről például abban, hogy az enzimeket a növény bocsátja-e ki, vagy az emésztő fluidumban lévő mikrobiális közösségből származnak-e. Egyesek úgy vélik, hogy az enzimek a levelekről kerülnek a csapdába lévő folyadékba. Amikor a rovarokból származó nitrogéntartalmú vegyületeket az emésztési enzimek feldolgozták, azokat a növény szövetébe juttatják annak érdekében, hogy növekedését és szaporodását támogassák.

Az aszpartikus proteáz azért vált érdekessé, mert ez az enzim stabilabb és jobban működik savas környezetben, mint a pepszindigestív proteáz. [9] Nemrég fedték fel a kancsókaiban az endopeptidázok két új enzimjét. Ezek szerepe a hiszton teljes proteomosa kialakítását helyettesítve tripszint, fehérjéket hidrolizál az emésztőrendszerben. Aszpartikus proteáz például a hidrogén/deutérium cserés kísérletekben vagy natív diszulfidhidak elemzésében alkalmaznak. [10] Ugyancsak kimutatták, hogy a kitingindukció – az N-acetilglükózamin (2. ábra) révén – a kancsóka oligo-



2. ábra. N-acetilglükózamin oligomer

merjeiben jelentősen ösztönzi az oldható endokitináz metabolizáló enzimek keletkezését. [4]

A húsevő növények ökológiailag definiált csoportot képeznek, de filogenetikailag nem. Ezért esetükben nem várható, hogy szekunder (másodlagos) metabolitjaik homogének legyenek. Újabb filogenetikai kölcsönhatások tanulmányozása során bizonyos vegyületek jelenlétére/hiányára is rámutattak [11] a húsevő növényeknél. A 3. ábrán feltüntetünk néhány fontos metabolitmolekulát.

A húsevő növények ökológiája

A húsevő növények legalább 6 különböző nemzetségből erednek, mindegyikük megváltoztatott levelek fejlődését alakította ki állatok (főleg rovarok) befogására és megemésztésére tápanyagok szerzése érdekében. Miközben a mérsékelt égövön a legtöbb húsevő növény lágokban és mocsarakban található, trópusi és szubtrópusi

helyeken bizonyos fajok erdős zónákban, valamint szárazabb talajokban és napos helyeken is fellelhetők. A húsevő növények gyakran meglepő és összetett kölcsönhatásba lépnek bizonyos rovarokkal amellett, hogy egyeseket bekebeleznek.

A húsevő növények többféle ökorendszeri szolgálattal az embert is segítik. Például nagy mennyiségű dipterát is fogyasztanak, mint például moszkítókat (szúnyogokat), sőt, szentjánosbogarakat is, amelyek emberi betegségeket hordoznak. Ezenfelül egyes húsevő növényfajták moszkítótojásokat és -lárvákat is fogyasztanak. Ez azért is fontos, mert a moszkítókat és társaik évente körülbelül 200 millió embert fertőznek meg, 700 milliót veszélyeztetnek, valamint 20 millió ember komoly egészségügyi következményektől szenved. Ennek megfelelően fontos, hogy a húsevő növények komolyan védenek a dipterák csípéseitől és a betegségek továbbadásától, ezáltal az emberiségnek szüksége van rájuk.

Utószó

Annak ellenére, hogy valószínűleg a húsevő (tulajdonképpen rovarevő) jelleg egyes olvasók számára zavarónak, illetve riasztónak tűnik, hozzá kell tennünk, mint már említettük, ezt a tevékenységet a növényekben nem a gyilkos ösztön, a ragadozó kegyetlenség váltja ki, hanem a fejlődés során alakult ki, amikor más úton nem tudták fenntartani a létüket. Hogy ne csak tevékenységük nem igazán vonzóan hangzó jellegét említsük, szót kell ejtenünk virágjellegű külsejükről és kis túlzással, mondhatnánk, szépségéről, amit a 4. ábra illusztrál. A szépség, a vonzó külső, valamint a dipterák pusztításából származó hasz-

nosság sokak szerint ellensúlyozza, sőt, túl is szárnyalja a húsevő növények ragadozó jellegű ijesztő elnevezését. Még egyszer említenénk, hogy nem a gyilkolás ösztöne rejlik a húsevő növények tevékenysége mögött, hanem a létfenntartásé. Sajnos, a gyilkolás igazi motivációs ösztöne csak az emberi fajnál van jelen.

Az írás elején említettük: Charles Darwin fedezte fel, hogy ezek a növények befognak és megemésztenek élő rovarokat.



4. ábra. A húsevő kancsókák virágszerű szépsége

Ezt a tevékenységet persze még a biológiai szükséglet magyarázatával sem kell és lehet elfogadhatóan vonzóvá tenni. Talán nem felesleges említeni, hogy a darwini időkben születtek olyan művek, amelyek a fentiek ellentétéiként mutatták be a növények életét és fejlődését.

Végül talán az *Annals of Botany*-ban, a botanika egyik legrangosabb folyóiratában megjelent: *Quite a few reasons for calling carnivores the most wonderful plants in the world* című összefoglaló cikkel [12] fejeznék be a húsevő növények bemutatását, amit ajánlunk azoknak az olvasóinknak, akik mélyebbre kívánnának ásni dolgozatunk témájában.

IRODALOM

[1] V.Azlassnig, M.Peroutka, D.Lendl, Ann. Botany (2011) 107, 181.
 [2] S.W.Behije, M.J.Bidochka, Insects (2013) 4, 413.
 [3] A.M.Ellison, L.Adamec, Carnivorous Plants, Oxford University Press, New York, 2018.
 [4] H.Ellenberg, S.Pnini-Cohen, S.Schuster, A.Movtchan, A.Zilberstein, J. Exp. Botany (2006) 57, 2775.
 [5] C.Thorogood, J.Bauer, U.Hishkock, J.Simon, New Phyt. (2017) 3, 1035.
 [6] S.Baby, A.J.Johnson, E.J.Zachariah, A.A.Hussain, Sci.Rep. (2017) 7, 1.
 [7] N.Hatano, D.Hamada, J.Proteom Res. (2008) 7, 809.
 [8] F.Buch, M.Rott, S.Rottloff, Ann. Bot. (2013) 111, 375.
 [9] A.Kadek, H.Mrazek, B.Holoda, M.Rey, D.C.Schriemer, B.Man, Anal. Chem. (2014) 86, 4287.
 [10] C.U.Schräder, L.Lee, M.Rey, Molek Cell. Proteomix (2017) 16, 1162.
 [10] K.T.Müller, L.Borsch, S.Legendre, I.Porenbaki, I.Thaisen, W.Barthlott, Plant. Biol. (2004) 6, 477.
 [12] E.Król, B.J.Blachno, L.Adamec, M.Stolarz, H.Dziubinska, K.Trebacz, Ann. Bot. (2012) 109, 47.

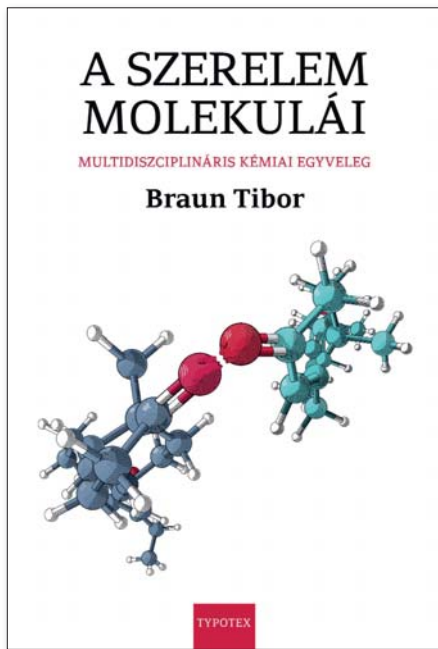


Szórakoztató-gondolkodtató kémia

Braun Tibor: *A szerelem molekulái. Multidiszciplináris kémiai egyveleg.* Typotex Kiadó, 2021

Braun professzor több mint egy évtizede publikál tudományos ismeretterjesztő cikkeket, főleg a Magyar Kémikusok Lapjában, de cikkeinek gyűjteménye már két könyvben (*A Nobel-díjra érdemes taxisofoőr*, Lexica Kiadó, Budapest, 2016, és *A könyvek illata*, Typotex Kiadó, Budapest, 2019) is megjelent. Egyrészt az írások népszerűsítő küldetést töltenek be, aminek komoly jelentősége van kemofób társadalmunkban, másrészt a színvonalas és humoros ábrákkal illusztrált írások olvasása remek kapcsolódást jelent. Mi sem bizonyítja ezt jobban, mint hogy a MKL évenkénti közvélemény-kutatása szerint Braun Tibor cikkei – szinte kivétel nélkül – mindig a dobogón végeznek. Ebben a könyvben már a „Megújulás varázsa”, „Gasztrokémia”, „Törvény és remény”, „Laborból laborba”, valamint az „Alakulás közben” fejezetcímek is figyelemfelkeltők.

Minden fejezetből szubjektíven kiragadnék egy-egy érdekesítő írást. Kit ne érdekelne, hogy amikor Ámor nyíla eltalál minket, milyen biokémiai folyamatok indulnak be az agyunkban, illetve milyen szerepet játszik a szerotonin nevű neurotranszmitter a vágy-vonzódás–ragaszkodás folyamatokban? Jelen sorok írójának nagyon nehéz volt a választás a „Gasztrokémia” című fejezetből, ugyanis mind a négy írás lenyűgöző. A „Borrá oldott molekulák – Ismeret-erjesztés a szőlőhegy mögül” már-már nyelvújítási kísérlet. Másrészt a „Lombikból az étkezőasztalra – Sejtenyésztett hús állati hús helyettesítésére” cím hallatán ki ne kapná fel a fejét? A mostani csapadékmentes tavasz után aggódhatunk a szőlőtermés miatt, másrészt a húsárak folyamatos emelkedése is nyugtalanító. De Braun Tibor megnyugtat minket, hogy a borkópiák – ha nem is lesznek az igaziak – révén a fogyasztóknak hasonló élményben lesz részük, mintha valódi nedűt fogyasztanának. Másrészt az állati sejtekből létrehozott sejtenyésztett, vagyis „in vitro” hús alternatíva lehet főleg a darált húst felhasználó, tehát kolbász-, húsgombóc- és burgerkészítmények esetén. A „Törvény és remény” talányos című fejezetből a „Világhírű játékszerek a tudományos kutatás szolgálatában – Mikrofluidikai berendezések LEGO-téglákból ...” emelhető ki. Nemcsak a kutatásban, de az ipari használatban is egyre terjed a különféle elemekből (pl. egymás után kapcsolt mikroreakto-



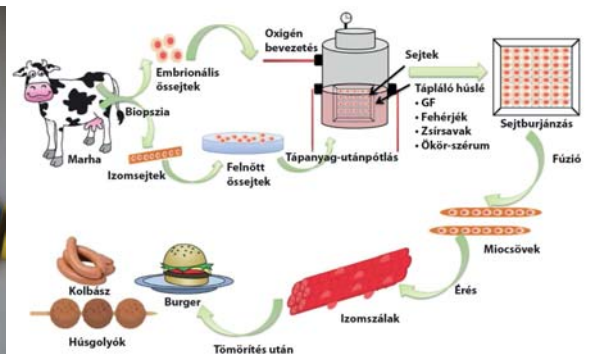
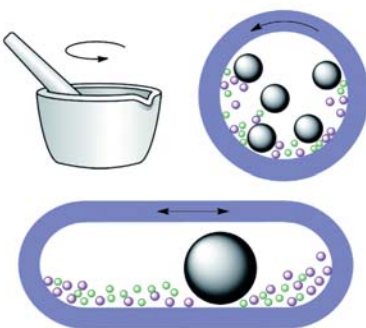
rokból/„chip”-ekből, adagolókból stb.) összeállított „flow” rendszer, amelynek egyik felén bemennek a komponensek, a másik oldalán meg kijön a termék. Tíz vagy akár több száz mikrométer átmérőjű, több száz párhuzamos csatornában játszódhat le a kémiai reakció. Ez egyrészt például exo-term reakcióknál biztonságos, másrészt a párhuzamos kivitelezés miatt termelékeny is. A „Laborból laborba” válogatás közül a „Folyadékfázisú szerves kémiai szintézistől a szilárd–szilárd szerves mechanokémiáig” írást emelem ki. Ez a terület is ugyanúgy, mint az előbb említett „flow chemistry”, mára már tananyag az MSC-s vegyész- és gyógyszervegyészmérnök-hallgatók számára, hiszen nagyon fontos zöld kémiai módszer az oldószerek használatának csökkentésére. A szilárd komponensű fázisok őrlése közben (vagyis a kristályrács összeomlásából) felszabaduló energia teszi lehetővé a

reakciók lejátszódását. A golyósmalmok mérete a 10 cm-esről 2–3 m-ig terjedhet. Persze, ezeket aprításra is használják.

Végül, de nem utolsósorban, jelen sorok írója úgy érzi, hogy az „Alakulás közben” című fejezetből a „Beszélgetés Braun Tiborral – beszélgetőtárs: Benedek Pál vegyészprofesszor” című írást méltó kiemelni, amelyben – többek között – szó esik a káprázatos C_{60} -molekuláról és kiderül a szerző kémiáról alkotott szemléletes véleménye: „A kémia (is) egy ház, melyet ismeretkvantumok egymáshoz illesztésével építenek fel. Ezek az ismeretkvantumok azonban nem izomorfok, mint a házépítéshez használt téglák, a tudományos építkezés inkább a puzzle kirakásához hasonlít.”

A sikeres „akadémiai” pályát befutott és a kutatói eredmények értékelésében használt, valamint a tudományos alap kutatás működési mechanizmusát is kutató tudományometriát (a scientometriát) megalapozó Braun professzor fáradhatatlan a tudományt népszerűsítő tevékenységében is. Ez az újabb gyűjtemény – az előzmények alapján – népszerű és pihentető olvasmány lehet a vegyészársadalom számára, de éppen az a csodálatos az ilyen írásokban, hogy nem csak szakmabeliek olvassák. Nem is beszélve arról, hogy a poénos írásokat még a diákok is olvasni fogják.

Keglevich György



Vaskó Dorottya¹ – Hirsch Edit¹ – Fehér Csaba^{1,2}¹BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar²BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

vasko.dorottya@edu.bme.hu

Monoklonális antitestek hagyományos és alternatív tisztítási módszerei

A monoklonális antitestek jellemzői

A monoklonális antitestek jelentősége

Az Egyesült Államok Élelmezési és Gyógyszerészeti Igazgatósága (USA FDA) 1986-ban hagyta jóvá az első monoklonális antitest (*monoclonal antibody*, mAb) forgalmazását. Azóta az antitestek a gyógyszerpiac legkeresettebb készítményeivé váltak, a hatóságok pedig már számos betegség kezelésére engedélyezték az antitest-terápiák használatát, többek között rákos megbetegedésekre, májgyulladásra, gyulladásozós ízületi megbetegedésre, cukorbetegségre, Crohn-betegségre és sclerosis multiplexre [1]. A monoklonális antitestek használata a 2019 végén megjelent Covid-19 vírus által megfertőzöttek kezelésében is hatékony gyógymódot kínál. Már korábbi kutatások is bizonyították, hogy a monoklonális antitestek használata új megközelítést jelent a vírusos megbetegedések kezelésében, mint például az influenza, a SARS, a MERS és az Ebola [2].

A monoklonális antitestek termelése és feldolgozása

A fehérjealapú gyógyszerek összetett, többségük élő szervezetek által, specifikusan kialakított sejtszrendszerek és rekombináns DNS-technológia felhasználásával készülnek. Az *upstream* művelet során a monoklonális antitestek termelését CHO (*Chinese hamster ovary*) sejtvonalakkal valósítják meg (1. ábra), jellemzően rátáplálásos (*fed-batch*), szakaszos technológiával. Azonban jelentős törekvések vannak az iparban a folyamatos üzemeltetésre való áttérésre, annak számos előnye miatt. Az egyik legjelentősebb ezek közül, hogy a holt idők kiiktatásával csökkenthető a gyártási idő, ami jelentősen nagyobb termelékenységhez vezethet. Az emlőssejteket általában keverővel ellátott bioreaktorban, szuszpenziós közegben tenyésztik. A megfelelő minőségű és mennyiségű monoklonális antitestek termelése szempontjából elengedhetetlen az egyes kritikus paraméterek, többek között az oldottótoxigén-szint, a hőmérséklet (általában 37 °C), a pH (vérre jellemző 7,4-es érték), valamint a nitrogén- és szénforrások koncentrációjának megfelelő szinten tartása. Ezeken kívül célszerű vizsgálni a sejtek aminosavszükségletét, mert egy-egy aminosav esetleges hiánya korlátozhatja a sejtek növekedését és termelékenységét [3].

A *downstream* műveletek a sejtek által termelt monoklonális antitestek elválasztási és tisztítási lépéseit foglalják magukba,



1. ábra. Monoklonális antitestek laboratóriumi termelése

amelyek célja, hogy emberi felhasználásra alkalmas, nagy tisztaságú készítményt állítsunk elő. Ehhez a termelődött antitesteket el kell választani a sejtektől és a sejttörmelékektől, majd a megfelelő módszerrel megtisztítani a fermentlemben lévő egyéb szennyezőktől. Ehhez egy hatékony, összetett tisztítási eljárásra van szükség, amelynek során számos szennyező (pl. gazdasejtfehérje és DNS, vírusrészecskék, antitest-aggregátumok és fragmentumok) mennyiségét a hatóságok által meghatározott érték alá kell csökkenteni. Erre a gyógyszeriparban jelenleg többlépcsős kromatográfiás tisztítást alkalmaznak, szűrési és vírusinaktiválási lépésekkel egybekötve.

A monoklonális antitestek kinyerése és tisztítása

Az antitestek tisztítására széles körben elterjedt módszer az affinitáskromatográfia (2. ábra), amely egy specifikus fehérje-ligand kölcsönhatáson alapszik. A leggyakrabban használt ligan-



2. ábra. Affinitáskromatográfias laboratóriumi tisztítás

dum a protein A fehérje, amely a *Staphylococcus aureus* sejtfal-összetevője. A protein A Fc régiója és az IgG immunfehérje közötti natív kölcsönhatás volt az első, amelyet felfedeztek, és felhasználták a fehérjetisztítási affinitásrendszer kifejlesztésére.

Az affinitáskromatográfias tisztítási lépés kezdetén a sejtmentes felülúszót semleges pH-n az oszlopra töltik, amely során az antitestek megkötődnek az állófázison immobilizált ligandon. A tisztítási lépés végén a terméket kis pH mellett eluálják az oszlopról, ami egyben a savas közeg miatt a vírusok inaktiválását is lehetővé teszi. Az oszlop betöltése és az eluálás közé gyakran egy mosási lépést iktatnak be közbenső pH-n, amely elősegíti a gazdasejtfehérjék és más szennyeződések eltávolítását. Végül az oszlopot lúgos pH-n tisztítják, majd regenerálják. A protein A affinitáskromatográfianak számos kedvező tulajdonsága van. Egyrészt egyszerű és gyors elválasztási lépés, másrészt rendkívül szelektív a mAb-okra, így akár 95%-nál nagyobb tisztaságot is eredményezhet [4]. Az így elérhető nagy tisztaság ellenére azonban további lépésekre is szükség van a megmaradt gazdasejtfehérjék (HCP), a DNS-darabok és a nagy molekulatömegű termékaggregátumok eltávolításához, valamint a vírusmentesség biztosításához [5]. Az affinitáskromatográfia egyik hátránya a töltetek nagy költsége; ezek akár tízszer drágábbak is lehetnek, mint a hagyományos kromatográfias töltetek. A kiadások mérséklése érdekében az oszlopok hasznos élettartamának maximalizálása a *downstream* folyamatok fejlesztésének egyik központi témája. Az affinitáskromatográfia másik hátránya, hogy a termék elúciójához használt kis pH nagymértékű antitest-aggregációt és/vagy oldhatatlan csapadékképződést eredményezhet, ami a termékhozam jelentős csökkenéséhez vezethet.

A legtöbb mAb-tisztítási eljárás ezt követően legalább egy, de általában két további kromatográfias lépést tartalmaz. A két gyakran használt típus a kationcserés kromatográfia (CEX) és az anioncserés kromatográfia (AEX). Az ioncserés kromatográfia ideális a nagy molekulatömegű aggregátumok, a maradék DNS-darabok, a gazdasejtfehérjék, a leszakadt proteincsökkenésére [6]. A kationcserés kromatográfia emellett képes az antitestek különböző töltésvariánsait is elválasztani egymástól. A tisztítandó antitestek az oszlopra történő felvitelük során a ligandhoz kötődnek, míg a szennyeződések eltávolíthatók a mosási lépésben. Végül az eluáló puffer megfelelő beállításával az antitesteket eluálják az oszlopról. Az eluálás során leggyakrabban pH- vagy sógradienst alkalmaznak [5]. Ezzel szemben az anioncserés kromatográfia általában enyhén savas pH-n végzik, átfolyó üzemmódban, amely azt jelenti, hogy az antitestjeink nem kötődnek

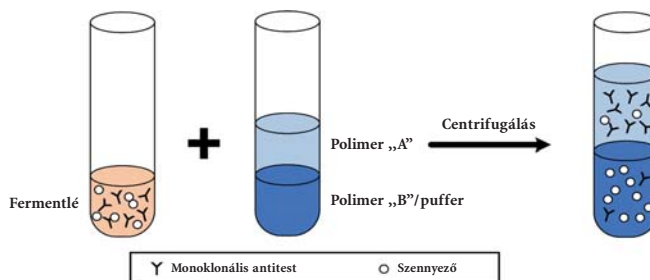
fel az oszlopra, hanem csak keresztülfolyanak rajta. Eközben viszont a DNS-molekulák, egyes vírusok és egyéb savas jellegű szennyezők az oszlopra kötődnek, így elválnak a számunkra fontos antitestektől [6].

Alternatív tisztítási módszerek

A hagyományos technológiák fejlesztése mellett egyre nagyobb az igény a kromatográfias módszereket kiváltó alternatív, költségsökkentett folyamatokra, mint például a vizes kétfázisú rendszerben (*aqueous two-phase system*, ATPS) végzett extrakció, a kicsapás-visszaoldás módszere, a flokkuláció vagy a kristályosítás. A fejlesztések során a technológia folyamatosíthatósága is kiemelt szerepet játszik.

Vizes kétfázisú extrakció

Az extrakció olyan szétválasztási művelet, amelynek során két nem elegyedő, eltérő polaritású oldószerben egy adott komponens megoszlik, és emiatt kinyerhető, majd megtisztítható. Ilyen tisztítási művelet alkalmazható az antitestekre is; leginkább vizes kétfázisú extrakcióval valósítják meg (3. ábra). Itt mindkét fázis vízalapú, és a rendszerhez hozzáadott fázisképző anyagok ha-



3. ábra. Monoklonális antitestek tisztítása vizes kétfázisú extrakcióval

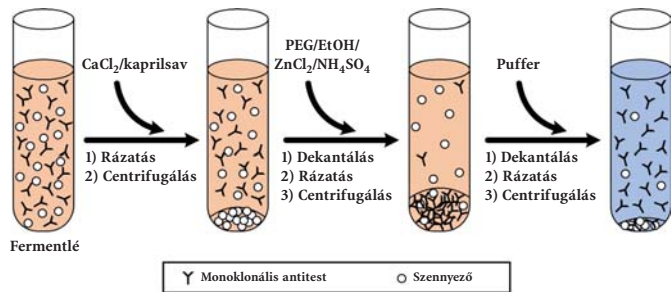
tására alakul ki a két eltérő polaritású fázis. Ezek a rendszerek azért előnyösek, mert a nagy víztartalomnak (70–80%), a fázisképző polimerek stabilizáló hatásának [7] és a fázisok között levő kis határfelületi feszültségnek köszönhetően enyhébb körülmények között zajlik az extrakció, így kevésbé jellemző a fehérjék kicsapódása [8]. A fázisokat alkotó fő komponensek alapján megkülönböztetünk polimer-polimer vagy polimer-puffer rendszereket. Az első esetben két nagy molekulatömegű, eltérő polaritású polimer (pl.: polietilén-glikol (PEG) és dextrans) hatására alakul ki két nem elegyedő fázis. A polimer-puffer rendszer esetében egy nagy molekulatömegű homopolimer (pl.: PEG) vagy kopolimer (pl.: etilén-oxid/propilén-oxid kopolimer) alkot nem elegyedő rendszert szulfátból, foszfátból vagy citrátból álló tömény sóoldattal [8,9]. Az antitest megoszlását a két fázisban több tényező is befolyásolja, ilyen például a fázisok relatív hidrofobicitása, az alkalmazott polimerek molekulatömege, a rendszer ionerőssége, pH-értéke és a tisztítandó fehérje töltése [10].

Az ATPS könnyen integrálható a *downstream* módszerek közé, mivel a fázist alkotó komponensek kis toxicitással rendelkeznek, a folyamat pedig könnyen méretnövelhető és egyszerű berendezésekben megvalósítható. Az ATPS-rendszer alkalmazása energia- és költséghatékonyabb lehet, mint a kromatográfias tisztítási folyamat, valamint a folyamatos technológiákba is könnyebben beilleszthető [7,11]. Az ATPS-technológia hátránya azonban, hogy hatékonysága az antitesttisztulás és -kinyerés tekintetében jelenleg még elmarad a kromatográfias eljárásétól.



A kicsapás-visszaoldás módszere

A vizes kétfázisú extrakciós rendszerek mellett másik lehetőség az antitestek kinyerésére és tisztítására a kicsapás-visszaoldás módszerének alkalmazása (4. ábra).



4. ábra. Antitestek tisztítása kicsapás-visszaoldás módszerével

Ennek alapja az antitestek reverzibilis kicsapása, amit többször valamilyen polimerrel végeznek, jellemzően PEG-gel. Bár a hozzáadott PEG jelentősen csökkenti az antitestek oldhatóságát, nem alkalmas a nagy molekulatömegű szennyezők, például aggregátumok, kétszálú DNS-darabok és nagyobb fehérjék szelektív eltávolítására. Így érdemes ezeket egy másik lépésben kalcium-klorid vagy kaprilsav segítségével kicsapni az antitestek mellől [12]. Mivel a PEG nagy viszkozitású anyagként nehezen elválasztható az antitestektől a folyamat végén, ráadásul a visszamaradt PEG ipari méretben nagy rendszernyomást is eredményezhet a szűrések során, ezért vizsgálják ennek kiválthatóságát más antitest-kicsapószerekkel. Az irodalomból ismert módszerek az ammónium-szulfátos, a cink-kloridos [13] és a hideg etanolos kicsapások [14]. Mindezeket az antitestet és szennyezőket kicsapó lépéseket többféle módon és kombinációban lehet alkalmazni, hogy minél jobb elválasztást és nagyobb tisztaságot érjünk el. A kicsapós lépéseket végül az antitest visszaoldása követi, aminek hatékonyságát főként az oldat pH-ja és ionerőssége határozza meg, végezhetjük hisztidinnel, tris, acetát, foszfát vagy citrát pufferrel is [15]. Az antitest kicsapás-visszaoldás módszerének előnye, hogy egyszerű készülékekben, gyorsan és hatékonyan vé-

gezhető. Hátránya, hogy a megfelelő tisztaság eléréséhez többlépcsős kicsapási-visszaoldási műveletsorra van szükség, illetve a kicsapás hatására a fehérjék veszhetnek biológiai aktivitásukból.

Összefoglalás

A monoklonális antitestek gyógyszeripari alkalmazása egyre jelentősebb, viszont előállítási költségük, így fogyasztási áruk továbbra is magas. Mivel az antitestek jelenleg használt kromatográfiás tisztítási művelete az előállítási költség több mint 50%-a is lehet, ezért az ipari technológia fejlesztésére, költség- és energiahatékonyabbá tételére nagy igény mutatkozik. A megjelent alternatív tisztítási módszerek jó helyettesítői lehetnek a kromatográfiás lépéseknek. A bemutatott eljárásoknak, tehát a vizes kétfázisú extrakció és a kicsapás-visszaoldás módszerének számos előnyük van. Könnyen méretnövelhető, működtethető folyamatos üzemmódban és akár költséghatékonyabb megoldások is lehetnek, mint a jelenlegi kromatográfiás tisztítási lépések. Bár az ipari alkalmazásukig még számos problémát kell megoldani, mindenképpen potenciális alternatívának számítanak. ●●●

IRODALOM

[1] O. H. Brekke, I. Sandlie, Nat. Rev. Drug Discov. (2003) 2, 52.
 [2] L. Jahanshahlu, N. Rezaei, Biomed. Pharmacother. (2020) 129, 110337.
 [3] M. M. Papatthasiou, A. L. Quiroga-Campano, F. Steinebach, M. Elviro, A. Mantalaris, E. N. Pistikopoulos, Biotechnol. Prog. (2017) 33, 966.
 [4] Y. Yigzaw, R. Piper, M. Tran, A. A. Shukla, Biotechnol. Prog. (2006) 22, 288.
 [5] A. A. Shukla, B. Hubbard, T. Tressel, S. Guhan, D. Low, J. Chromatogr. B (2007) 848, 28.
 [6] H. F. Liu, J. Ma, C. Winter, R. Bayer, MAbs (2010) 2, 480.
 [7] A. M. Azevedo, P. A. J. Rosa, I. F. Ferreira, M. R. Aires-Barros, Trends Biotechnol. (2009) 27, 240.
 [8] J. A. Asenjo, B. A. Andrews, J. Chromatogr. A (2012) 1238, 1.
 [9] S. Y. Lee, I. Khoiroh, T. C. Ling, P. L. Show, Sep. Purif. Rev. (2016) 45, 81.
 [10] M. Iqbal, Y. Tao, S. Xie, Y. Zhu, D. Chen, X. Wang, L. Huang, D. Peng, A. Sattar, M. A. B. Shabbir, H. I. Hussain, S. Ahmed, Z. Yuan, Biol. Proced. Online (2016) 18, 1.
 [11] J. A. Asenjo, B. A. Andrews, J. Chromatogr. A (2011) 1218, 8826.
 [12] R. Sommer, A. Tscheliessnig, P. Satzer, H. Schulz, B. Helk, A. Jungbauer, Biochem. Eng. J. (2015) 93, 200.
 [13] G. Dutra, D. Komuczki, A. Jungbauer, P. Satzer, Eng. Life Sci. (2020) 20, 265.
 [14] A. Tscheliessnig, P. Satzer, N. Hammerschmidt, H. Schulz, B. Helk, A. Jungbauer, J. Biotechnol. (2014) 188, 17.
 [15] N. Hammerschmidt, S. Hobiger, A. Jungbauer, Process Biochem. (2016) 51, 325.

Egy híres antitestkóktél

A Regeneron Pharmaceuticals áprilisban tette közzé annak a vizsgálatnak az eredményeit, amelyben a Covid-19 kialakulásának megelőzésére szánt antitestkóktél (a casirivimab és az imdevimab nevű antitestek keverékét tartalmazó, REGEN-COV) hatékonyságát igyekeztek felmérni. Ez az a készítmény, amellyel 2020 októberében a frissen megfertőződött Donald Trumpot is talpra állították.

A cég közleménye szerint a monoklonális antitesteket tartalmazó kóktél 81 százalékkal csökkentette annak az kockázatát, hogy a koronavírusal megfertőzött tesztalanyok súlyosan megbetegedjenek.



A vizsgálatban 1500 olyan egészséges önkéntes vett részt, aki egy háztartásban élt pozitív Covid-tesztet produkáló szemé-

lyekkel. A kutatók két csoportba osztották őket: az egyik tagjai egyetlen dózis antitestkóktélt kaptak injekció formájában, míg a másik csoportnak placebót adtak. 29 nap múlva az antitestkezelésen átesett csoportból 11, míg a placebo-sok közül 59 embernél alakult ki a Covid-19, ráadásul az első csoport betegeinél átlagosan egy hét alatt lezajlott a betegség, a kontrollcsoportban ugyanez átlagosan három hétig tartott.

A Regeneron vizsgálata hasonló eredményeket hozott, mint az Eli Lilly monoklonálisantitest-terápiája (a bamlanivimab és az etesevimab keverékének alkalmazása). A készítmények nyilván nem helyettesítik a vakcinákat, bár a Regeneron azt szeretné, ha a jövőben megelőzés céljából is engedélyeznék a gyógyszerhatóságok. (qubit.hu)

Az előbbi két kóktél alkalmazását az Európai Gyógyszerügynökség korábban már engedélyezte, és más, hasonló gyógyszerek is készülnek; például folyik a brit GlaxoSmithKline és az amerikai Vir Biotechnology által közösen fejlesztett, Sotrovimab nevű antitestkészítmény tesztelése a Covid-19 kezelésére.

A kémiatudomány magyar klasszikusai

SZERKESZTI: GÁL MIKLÓS

Egy klasszikus szerves kémiai tankönyv története*

Megemlékezés a tankönyvíró Bruckner Győzőről

KUCSMAN ÁRPÁD**

Ha *Bruckner Győző* munkásságáról lexikonok szócikkei alapján kívánunk tájékozódni, akkor elsősorban a Kosuth-díjas kiváló kutatóról alkothatunk képet. Kevés szó esik viszont arról, hogy *Bruckner Győző* fő feladatának mindig is az egyetemi tanári munkát tartotta, hangsúlyozva azonban, hogy jó tanár csak jó kutatóból lehet.

Bruckner Győző 54 éven át állt a katedrán, generációkat tanítva a szerves kémiára. 1935-től 1970-ig tanári munkájának középpontjában a *szerves kémiai főkéllégium* állt, amelyet egész életében alakított, csiszolt. Évtizedeken át teljes képet adott hallgatóinak a kor szerves kémiájáról, ami talán neki sikerült utoljára. Igaz, hogy erre két féléves, heti hatórás kurzusra volt szüksége.

Az alapozáson túlmenően *Bruckner Győző* súlyt helyezett arra is, hogy az érdeklődő felsőéves hallgatókat bevezesse a szerves kémiai kutatás rejtelmeibe, szépségeibe és nehézségeibe. Ezt a célt szolgálták gondos irodalmi tanulmányokon alapuló *speciális kollégiumai*, amelyek magasabb szinten ugyancsak átölelték szinte az egész szerves kémiát. Az előadási „étlapot” első ízben a háború előtti szegedi tanrendek tárják eléink. Itt szerepel a szerves kémiai analízis, a szerves kémiai módszertan, a heterociklusos vegyületek, a vitaminok, a politerpének és a szteránvázis vegyületek kémiája.

Mindezek az előzmények már az 1940-es években presztízsiálták *Bruckner Győzőt* arra, hogy egy korszerű és alapos szerves kémiai tankönyv írója legyen. Erre a munkára készen állt, hiszen tudta, hogy az előadás elhangzott szónál többet ér az írott anyag. Az akkori idők azonban nem voltak alkalmasak a szerves kémiai tankönyvigények kielégítésére, bár a hiány nyilvánvaló volt. *Zechmeister László* nagyszerű kétkötetes műve, amely 1930–32-ben látott napvilágot, lassan avulófélben volt, és eltűnt a könyvpiacról. A forgalomban levő, örökifjú „kis Gróh” viszont csak igen szerény alapozáshoz volt elegendő. A Budapesti Tudományegyetemen a háború után *Széki Tibor* mintegy 100 oldalas, igen vázlatos jegyzetéből tanultak a diákok.

1949-ben végre eljött az idő és *Bruckner Győző* miniszteri felkérést kapott egy kétkötetes szerves kémiai tankönyv megírására. Az első kötetre vonatkozó szerződést a Tankönyvkiadóval 1951. április 6-án írták alá. *Bruckner*

professzor gondosságára jellemző, hogy ezt a szerződést élete végéig megőrizte. A határidő 1951. augusztus 15., az engedélyezett terjedelem 35 ív (lett belőle 51).

Bruckner Győző nagyjából azzal egy időben látott hozzá a tankönyvíráshoz, hogy 1949 őszén átvette a Budapesti Tudományegyetemen a szerves kémiai katedrát. Ekkor kezdte róni jól olvasható kézírással a sorokat, és e módszer mellett mindvégig kitartott. Még nem tudta, hogy amikor majd 1979-ben leteszi a tollat, a kézzel leírt sorok száma már meghaladja a *kettőszázezret*. A kéziratokban az idő múlását csak az mutatja, hogy a leírt betűk egyre apróbbak lettek.

A munka eleinte gyorsan haladt. A tankönyv *első kötet* a tervezett alifás tematikával 1952-ben, mintegy 800 oldalon már meg is jelent. Sikerült kiharcolni, hogy néhány példányt deltapapírra nyomjanak, ezek a kötetek még ma is igen szép külsejűek.

A *második*, az ún. aromás kötet három évre rá, 1955-ben látott napvilágot több mint 900 oldalon. Kiderült azonban, hogy ebbe a terjedelemben semmiképp nem férnek be a heterociklusos vegyületek, és a hozzájuk tartozó természetes szénvegyületek. Nem volt mit tenni, a Tankönyvkiadó az ötvenes évek végén hozzájárult egy harmadik kötet megírásához.

A *harmadik* kötet 800 oldalas első része 1964-ben jelent meg, 400 oldalas második része egy évvel később. Így a *Bruckner-tankönyv* – egy 14 éves, kiadási periódust tekintve – csaknem teljes lett. Egy szerencsétlen lektori javaslat következményeként csak egyes vitaminok és hormonok hiányoztak a megírt műből.

Időközben szükségessé vált a már megjelent kötetek *átdolgozása és kibővítése*. Az *első* kötet az 1961-es átdolgozásakor „kettévált”. Külön szerepelt az alifás kémia és külön a peptidok, a fehérjék és a szénhidrátok kémiája. Az utóbbi terület óriási fejlődése miatt ennek a részkötetnek egy újabb bővítésére és átdolgozására is sor került 1974-ben.

A *második* kötet átdolgozására és két részkötetre való bontására évtizedeket kellett várni. Végül a II/1. kötet 1977-ben, a II/2. kötet 1981-ben, a *Bruckner* professzor halálát követő évben jelent meg.

A *harmadik* kötet átírására már nem kerülhetett sor, a két részkötetről később a Tankönyvkiadó jóvoltából reprint kiadványok készültek 1991-ben, illetve 1993-ban. A kezdetektől addigra 42 esztendő telt el.

* A Magyar Tudományos Akadémián 2000. november 2-án elhangzott centenáriumi emlékbeszéd szerkesztett változata. A késői közlést a szóbanforgó mű jelentősége és a téma örök aktualitása indokolja.

** ELTE Szerves Kémiai Tanszék, Budapest

Végezetül a mű összességében mintegy 4 200 oldalasra sikerült. Egyetemi tankönyvről lévén szó, ez a terjedelem a külső szemlélő számára valóban zavarba ejtő. Aki azonban belülről is ismeri a végig egyenletes színvonalú, nehézség nélkül olvasható, tankönyv stílusú művet, aligha mondhat mást, mint a zeneszerző *Robert Schumann*, aki a Schubert-hagyatékban örömmel felfedezett, VII. nagy C-dúr szimfóniát így jellemezte: „mennyei hosszúságú”.

Bruckner professzor véleményét a terjedelemtől könyvei előszavából ismerhetjük meg. „Szükség van olyan korszerű magyar tankönyvre – írja –, amely a szerves kémiára szakosodó vegyészhallgatók tanulmányait támogatja. Ezt az igényt közös nevezőre lehet hozni a fiatal vegyészek továbbképzésének ügyével. Kívánatos továbbá, hogy a nem szerves kémiai főszakos vegyészek, valamint a biológusok, biokémikusok, orvosok, tanárok és gyógyszerészek olyan szerves kémiai műhöz jussanak, amely egy kisebb igényű kézikönyv szerepét tölti be.”

Az 1949-ben elkezdett tankönyv a szerves kémia hagyományos felosztását követi. Az anyag kiválasztásánál a szerző három szempontot mérlegelt: az elméleti, a biológiai és az ipari jelentőséget. Miként az előképnek tekintett német Karrer-tankönyvben, a tárgyalásmód alapja itt is a klasszikus Kekulé–Couper-féle vegyértékelmélet és a van't Hoff-féle sztereokémiai elmélet. De a könyvben már kezdettől fogva kellő súllyal szerepelnek a kémiai kötés elektronelméletével kapcsolatos kérdések és interpretációk is, amelyek akkoriban kerültek előtérbe, és amelyekkel a szerző maga is ez idő tájt kezdett behatóbban foglalkozni. Ebben szerepet játszott az általa ugyancsak fontosnak tartott amerikai Fieser-tankönyv koncepciója is. Alighanem csak saját megnyugtatóására – és a kiadó terjedelemmel kapcsolatos berzenkedésének leküzdésére – szolgált, hogy ezek a modern elméleti részek apró betűsek lettek, a biokémiai, ipari-kémiai és tudománytörténeti részekkel együtt. Irodalmi hivatkozások terjedelmi okokból nem kerülhettek be a könyvbe, de a további tájékozódást lehetővé teszik a szövegbe sűrűn beiktatott szerzői nevek és évszámok.

Bruckner Győző világlátésében tartózkodott szaktárgyának apodiktikus tárgyalásmódjától. A vegyületek szerkezetét mindig igyekezett bizonyítani, reaktivitásukat indokolni. A vegyületeket – ahogyan ő mondta – sohasem a cilinderből húzta elő, hanem megadta prekursorjaikat, visszavezetve a szintézisutat a legegyszerűbb kémiai forrásig. Az elméleti kérdések megoldását mindig fejlődésükben mutatta be, bizonyítva, hogy a szerves kémia nem holt ismeretanyag, hanem szüntelenül továbbfejlődő tudomány. Talán a természetes vegyületek tárgyalásánál sikerült *Bruckner* professzornak a leginkább hű képet adnia a korabeli szerves kémiai kutatás gondolatvilágáról és módszereiről. A pirrolvázis vegyületek vagy éppenséggel a szteroidok évtizedekig tartó szerkezetfelderítése – amely a lebontás és szintézis klasszikus technikáját alkalmazta – *Bruckner* interpretációjában lebilincselő kémiai regény vagy még inkább egy krimihez hasonlítható nyomozati munka leírása. Szinte sajnálhatjuk, hogy éppen ezek, a kémiai gondolkodás csúcspontát jelentő módszerek és az ezt tükröző könyvbéli szövegrészek avultak el napjainkra, ami a

korszerű, de automatizált műszeres szerkezetvizsgálati módszerek elterjedésével függ össze.

Bruckner professzor könyve írásakor elsősorban egyetemi előadásainak vázlatait használta vezérfonalként. Itt jegyezzük meg, hogy *Bruckner* professzor mindig szabadon adott elő, de előadásaira igen alaposan felkészült precíz óravázlatok alapján. Ezt azonban nem tartotta elegendőnek, ezért az adott témakörre vonatkozó eredeti szakirodalmat részletesen is tanulmányozta. Ilyenkor a tankönyv szempontjából érdekes részeket egy nagyalakú spirális füzetbe kiejegyzetelte, majd később hasznosította. Valljuk be, a tömörítés nem volt *Bruckner Győző* erőssége. Gyakran előfordult olyan eset, hogy egy kitűnő irodalmi összefoglaló cikk három oldalának tartalmából a tankönyvben végül hat oldal lett, mert úgy vélte, hogy a dolgokat rendesen el kell magyarázni.

Az összterjedelem ismeretében fel kell tennünk a kérdést, a *Bruckner*-mű vajon tankönyv-e, avagy kézikönyv? Erre csak dodonai válasz adható: egy kézikönyv teljességét és adatbőségét felvállaló tankönyv, vagy ha úgy tetszik, egy olyan kézikönyv, amelynek fogalmazása és formája mindvégig a tankönyvek igényeihez igazodik.

A több ezer oldalas mű létrehozása *Bruckner* professzor hallatlan egyéni érdeme és világviszonylatban is egyedülálló. Kétségtelen, hogy ehhez közvetlen munkatársai is jelentős segítséget nyújtottak, akik cserébe ezen a munkán keresztül tanulhatták meg a szakszövegek írásának művészetét. Egyes fejezetek, fejezetrészek átírásával vagy megírásával a *Bruckner*-könyvekben munkatársként közreműködött *Kucsman Árpád* (szénhidrátkémia, heterociklusos vegyületek kémiája), *Kajtar Márton* (elméleti szerves kémia, biokémia), *Medzihradsky Kálmán* (peptidek, fehérjék kémiája) és *Császár János* (izociklusos vegyületek kémiája).

A szakirodalmi adatok felkutatását és ellenőrzését, valamint a szerkesztési munkákat 1970-ig *Kucsman Árpád*, ezt követően *Császár János* végezte el. Kezdetben a szerkesztés távolról sem volt egyszerű, mivel a szerves kémiai szakszövegek esztétikus megjelenítéséhez az ötvenes évek elején itthon még hiányoztak a kiadói és nyomdai hagyományok. Az Egyetemi Nyomda szerencsére hajlott az együttműködésre, így biztosítani lehetett a könyv egységes és szép külalakját az első kötettől az utolsóig.

Meglehetősen hosszú volt az az út, amely a kézírattól a szépen nyomtatott oldalakhoz elvezetett. Először is a javításokkal és betoldásokkal sűrűn tarkított – sokszor bizony nehezen olvasható – kéziratot a Szerves Kémiai Tanszék könyvtárosa, *Lévai Gyuláné* szemet gyönyörködtető gépirattá varázsolta. Közlebről nézve ez óriási munkát jelentett, hiszen mintegy 10 000 flekk elkészítéséről volt szó, mégpedig öt indigós példányban. Ezt a sziszifuszi munkát *Edit* asszony mindig derűsen végezte, nem hiába kapta főnökétől a „Sugár” becenevet.

A képleteket és ábrákat *Herényi László* készítette el. Annak idején ő a képletraajzolásra egyedülállóan új technikát dolgozott ki, amely a nyomdai ólombetűk alkalmazásán alapult, és az eredmény kitűnően harmonizált a nyomtatott szöveggel. A *Bruckner*-könyv esztétikus képleteivel

bizony csak a mai igényes rajzolóprogramok termékei vehetik fel a versenyt.

A szedés és nyomtatás idején a tanszéki fiatal asszisztensek közül többen is bejártak az Egyetemi Nyomdába – még éjjel is – segítve a mindig készséges és munkájukat nagyszerűen értő mesterek munkáját. Ha a tördelés úgy kívánta, a jelenlevő néha beirt egy-két sort a szövegbe, vagy éppenséggel deleált ezt-azt. A jól végzett munka öröme ilyenkor „véletlenül” előkerült az akatáskából egy-egy becsempészett palack is.

A könyv 1952-ben megjelent első kötetét *Földi Zoltán, Müller Sándor* és az akkor már közel 70 éves *Zemplén Géza* lektorálta. *Földi* és *Müller* részletes, igen pozitív kritikát adott. Javaslatokkal sokban segítettek a szerzőt, főleg az ipari és az elméleti szerves kémiai részek szövegezésében. *Zemplén* alig kétoldalas kritikája viszont sértő és lényegében véve használhatatlan volt. Az akkori idők jellemzésére talán érdemes itt *Zemplén* professzort szó szerint is idézni.

„Első kifogásom a könyv tárgyalásmódjára vonatkozik. ... A szerves kémia elméleti részeit túlzott mértékben előtérbe helyezi, úgy állítván be a dolgot, mintha az elmélet volna mindennek a csúcspontja és a lényege, ... mintha az igazi, az élő, tehát a kísérleti szerves kémia csak arra szolgálna, hogy az elméletet alátámassza. Ezzel szemben a valóság az, hogy a szerves kémia lényege a helyesen végrehajtott kísérletek összessége, ... ezek örökbecsűek. Ezzel szemben az állandóan változó és sántikáló elméletek úgy ahogy igyekeznek magyarázatot találni a kísérlet tényeire, anélkül, hogy valaha is remény volna arra, hogy ezt a célt el fogják érni. ... A szerző könyvében szereplő elektronszerkezetek olyan beállításban szerepelnek, mintha azok megdönthetetlen örökértékű megállapítások lennének. Pedig bizonyos, hogy néhány évtizeden belül megdőlnék és helyükbe újabb erőltetett magyarázatok kerülnek majd. A könyvnek ez a hibája olyan, hogy semmiféle átdolgozással sem változtatható meg, mert a szerző legbelsőbb énjéből fakad. Az elmélet túlzott kidomborítása miatt a könyv nehezen emészthető súlyos olvasmány, amely a kezdőknek bizonyára sok keserű órát fog szerezni. ... Majd a tapasztalat megmutatja, hogyan válik be.” Eddig az idézet. – Az utókor kellő tisztelettel jelenti: a könyv bevált!

Bruckner professzort ez az igaztalan kritika mélységesen bántotta. Ennek ellenére tárgyilagosan és hűvös eleganciával válaszolt. Felhívta a figyelmet a tetraédes vegyérték-orientáció elméletére, amely rengeteg kísérleti tényt megmagyarázott, új utakat szabott a kutatásoknak, és 76 év óta egyszer se lehetett rajtakapni „sántikáláson”. Ami az elektronelmélet *zempléni* kritikáját illeti, *Bruckner* rámutatott arra, hogy a század elején egyesek hasonló módon kritizálták az elektrolitos disszociáció elméletét, de a kritikusoknak és jóslataiknak nem lett igaza. Ebből a polémiából a Tankönyvkiadó is levonta a konzekvenciákat: a második kötetből kezdve *Zemplén Géza* helyett *Bognár Rezső* lett a könyv lektora, aki korrekt kritikát adott és valóban hasznos megjegyzéseket tett. A második kötet jóval későbbi átdolgozását már csak *Messmer András* ellenőrizte.

A tankönyvírás fárasztó óráit gyakran tette oldottá *Bruckner Győző* sajátosan szelíd tréfálkozása. Ennek egyik célpontja tanszéki professzortársa és könyvének egyik lektora, *Müller Sándor* volt, aki gyakran írta *Bruckner* egy-egy tankönyvi megállapításának margójára a megjegyzést: „Ezt kérem verifikálni”. Ezeknek a megjegyzéseknek köszönhető egy humoros publikáció-parafrazis, amelyet *Bruckner Győző* írt a sohasem létező, múlt század eleji *Professor Ludwig Friedrich Sebastian Dunkelmann* nevében, veretes ónémet stílusban. *Bruckner* ezzel az „apokrif dolgozattal” kívánta verifikálni *Müller* számára azt a primitív tényt, hogy az anilin-szulfát lúg hatására anilinná alakul, amelyből sósav hatására anilin-hidroklorid képződik.

Egy alkalommal a „saszemű korrektor” (*B. Gy.* kifejezése) észrevette, hogy a professzori kéziratban olvadás-pont helyett olvadásbont van írva, és diszkrétan felhívta a szerző figyelmét a németajkúaknak arra a tévesztésére, hogy a magyarban a p-t b-nek, a k-t g-nek mondják és írják, sőt mindez fordítva is igaz. A szerző „vette a lapot” és humoros válaszát így írta alá: *Prof. Prugner Figdor*.

Ma már nehezen hihető, hogy az 1950-es években elvárták a szerzőktől, említsenek minél több orosz nevet tankönyveikben. Nagy felhajtás volt például az egyébként igen tiszteletreméltó *Butlerov* idézése körül. *Bruckner* professzor ezt hamiskásan így kommentálta: „Beirom nekik, ahányszor csak akarják, de mit fognak majd szólni túllihegő kollégáink, ha megtudják, hogy *Butlerov* spiritiszta volt?” A korabeli politikai elvárásoknak voltak ilyen néha humoros, de néha komoly felhangjai. Ideológiai okokból illet példál a rezonanciaelmélet helyett mezómérialméletet írni, kerülni kellett a határszerkezet kifejezést, és a rezonancianyilak használatát. Ezzel együttvéve, e kényes tárgykörökkel kapcsolatban egyetlen hamis mondat se került be a könyvbe.

Végezetül érdemes néhány szót ejteni arról, hogy miért nevezhető *Bruckner Győző* könyve *klasszikusnak*. Ha e szó eredetét vizsgáljuk, sokféle jelentéssel találkozunk, ezekből azonban kiragadható három vonulat. Egy *általános* értelmezés szerint a klasszikus szó esztétikai kategória: mintaszerűt, elsőrangút, egyszerűt és időtlenül hatót jelent. A *stílusbeli* értelmezés szerint a klasszikus mű magában foglal minden korábbi hibátlanak tartott stílust. Úgy vélem, hogy *Bruckner* könyve megfelel ezeknek a kritériumoknak. Ha a klasszikus szót harmadikként valamely *korszak* jelölésére használjuk, akkor ez is vonatkozatható a *Bruckner*-könyv esetére. *Bruckner* alkotói periódusa ugyanis egybeesik a kémia történetének azzal a korszakával, amely a vegyértékelmélet teljes kibontakozásától elvezetett a szerkezet és reaktivitás elektronelméleti értelmezéséig. Ebben a korban még lehetőség volt a szerves kémia teljes egészének ésszerű áttekintésére és interpretálására, ha nem kis fáradság árán is. Ez a korszak az információ-robbanással, a kísérleti technika és az elméleti módszerek forradalmi változásaival lezárult. *Bruckner Győző* tankönyvi műve ezért korunkban már megismételhetetlen. Ezzel együtt is megállapíthatjuk, hogy mindaz, ami e könyvekben le van írva, szakmailag korrekt és ma is elfo-

gadott, legfeljebb az anyag kiválasztás arányait mondhatjuk részben elavultnak. Így érthető, hogy a Bruckner-könyvsorozat 1952-ben megindult karrierje még az ezredforduló táján sem fejeződött be, hiszen a hat Bruckner-kötet ma is megtalálható szerves kémikusaink könyvespolcán, és a legutolsó kiadvány az 1993-as évszámot viseli.

ÖSSZEFOGLALÁS

Kucsman Árpád: Egy klasszikus szerves kémiai tankönyv története. Megemlékezés a tankönyvíró Bruckner Győzőről

A cikk leírja és elemzi egy egyedülálló magyar nyelvű szerves kémiai tankönyv történetét, amelyet *Bruckner Győző*, az Eötvös Loránd Tudományegyetem professzora írt hat kötetben, 4 230 oldalon. Az egyetemi hallgatóknak és a szerves kémiával foglalkozó kollégáknak szánt mű első kötete 1952-ben jelent meg, a to-

vábbiak 1955–1965 között. Számos új és átdolgozott kiadást követően az utolsó reprint kötet 1993-ban látott napvilágot.

[Magy. Kém. Lapja, 59, 226 (2004)]

SUMMARY

Á. Kucsman: The History of a Classical Textbook on Organic Chemistry. In Commemoration of Professor Győző (Victor) Bruckner

The article describes and analyses the history of the outstanding Hungarian textbook on organic chemistry (6 volumes, 4 230 pages) written by *Professor Győző (Victor) Bruckner* (Eötvös Loránd University, Budapest). The first volume of this work dedicated to his students and colleagues appeared in 1952, the others between 1955–1965. Following numerous revised editions, the last reprint came out in 1993.

Egy tanítvány emlékezése Bruckner Győző professzor úrra*

TOMASZ JENŐ**

Nagy megtiszteltetés számomra, hogy egykori tanítványaként, születésének 100. évfordulóján *Bruckner Győző* professzor úrra emlékezhetem. Szerencsés vagyok, hogy tanítványa lehettem, s főleg azért, mert az egyetem befejezése után 1958. és 1961. között három évet gyakornokként intézetében tölthettem. E sajnálatosan rövid három esztendő, de különösen az a néhány hónap, melynek során reggeltől sokszor a késő éjszakába nyúlóan a laboratóriumban együtt dolgoztunk, egész szakmai életem alakulása szempontjából meghatározó jelentőségű volt. Meghatározó volt, mert egy olyan kutatási és munkastílust ismerhettem meg, melynek – többek között – a feltétlen szakmai alázat, a szerénység, az önmagunkkal szemben mindenkor támasztandó kétely és igényesség, a kutatómunka szeretete, az aprólékos műgond és precizitás voltak ismertetőjegyei. Ezek a tulajdonságok manapság – bármily szomorú – egyre kevésbé jellemzik a tudományos kutatást és a kutatót, sőt az élet szinte valamennyi területéről eltűnőben vannak. Kivételezettnek érzem magam, amiért közelről ismerhettem e nagyon más stílusú múlt egyik iskolateremtő egyéniségét. Mindaz, amit *Bruckner Győzőtől*, a tanártól, a kutatótól és távolról sem utolsósorban az embertől tanultam, szakmai tanácsai, emberi útmutatásai egész életemnek irányt szabtak.

Kutató vagy tanár? E két hivatás közül melyik állt közelebb *Bruckner Győző* egyéniségéhez? Ő maga elsősorban tanárnak vallotta magát. 75. születésnapját köszöntő soraimra is a tanár válaszolt:

„Nagyon jólesett megemlékezésed! Mert mi is lehet a tanárember legnagyobb jutalma, amit munkájáért kaphat? Csakis tanítványainak ragaszkodó szeretete, mert ez tölti el azzal az érzéssel, hogy szerény képességének megfelelően meg tudta tenni azt, ami tőle várható volt. Fokozza az

örömteli érzést az, ha látja, hogy tanítványai boldogulnak az életben, és a tudományban magasabb szintre emelkednek, mint ahonnan tanítójuk elindította őket.”

Hadd idézzek most az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, 1976. december 2-án, tiszteletbeli doktortávátasakor mondott beszédéből néhány gondolatot, gyönyörű pedagógiai-kutatói ars poeticáját:

„Egyetemi szinten csak az oktathat eredményesen, aki aktív művelője tudományszakának. A kutatás folyamán szerzett tapasztalat, ha elég szorosan nem is érintkezik az egyetemi oktatás szelektált tematikájával, mégis tevékenyen hat az oktatásra, mert a kutató – saját sikerén vagy éppen balsikerén okulva – jobban megbecsüli mások kutatási eredményeit, és megbízhatóbban értékeli azt a szellemi tevékenységet, amely a természet egy-egy titkának a megfejtéséhez vezet. Ebben a gondolatvilágban élve, színesebbé válnak előadásai, s ezzel jobban felkelti hallgatói érdeklődését és figyelmét. De az egyetemi előadónak igazi örömet és élményt is jelent előadása akkor, ha hallgatóival szoros kapcsolatot tartva megláthatja a fiatalság értelmének és tudásszomjának visszasugárzását. Ez serkenti őt előadásának folytonos csiszolására, és az a gondolatmenet, melyet követ, új gondolatok forrásává válhat, s ezeket kutatásaiban is értékesítheti. Bizonyára az egyetemi oktatásban hosszú éveken át szerzett tapasztalataim hatása alatt állok, ha ma is úgy vélem, hogy az egyetemi tankönyvek vagy a tanszékek által kiadott jegyzetek fontosak, sőt nélkülözhetetlenek ugyan, de nem pótolhatják az élő szó erejét, az oktató és a hallgató közötti közvetlen és élő kapcsolatot.”

Legendás óráit talán legjobban és legtömörebben a neves gimnáziumi tanár, *Vermes Miklós* jellemezte. *Kucsman Árpád* meséli, hogy meghallgatván *Bruckner Győző* egyik egyetemi szerves kémia óráját, *Vermes Miklós* a maga nyers stílusában így jellemezte az előadót: „Ez az ember nagyon érti a szakmáját és a tanítást, világosan ad elő, jól használja a táblát és a színes krétákat. Örülhettek, hogy

* A Magyar Tudományos Akadémián 2000. november 2-án elhangzott centenáriumi emlékbeszéd szerkesztett változata

** 2100 Gödöllő, Palota-kert 6. A.

Néhány gondolat egy klasszikus kapcsán

Bruckner Győző egyetemi tanár 70 éve szerződést kötött a Tankönyvkiadóval egy kétkötetes magyar nyelvű szerves kémiai tankönyv megírására.

Bruckner Győző születésének 100. évfordulójára (2004-ben) Kucsman Árpád, mint szerzőtárs, megírta ennek a tankönyvnek a történetét „Egy klasszikus szerves kémiai tankönyv története. Megemlékezés a tankönyvíró Bruckner Győzőről” címmel.

Ekkorra már a Bruckner-könyv az évek során történt átdolgozásokkal, korszerű kiegészítésekkel hatkötetes lett, 4200 oldalas terjedelemmel. A 42 évi folyamatos munkával eltelt idő alatt, újabb és újabb felismerésekkel, sok esetben a legendás Bruckner-iskola eredményeivel is gazdagodva növekedett ez a társszerzőkkel készült, rendkívül olvasmányos, kiváló tankönyvsorozat.

A társszerzők (Kucsman Árpád, Kajtár Márton, Medzihradzky Kálmán és Császár János) ugyancsak kiemelkedő egyéniségek voltak a hazai szerves kémia egy-egy területének, nemzetközileg elismert kutatásának és oktatásának.

Visszaidézve az 1950-es években a kelet-európai kutatókkal szemben megnyilvánuló hatásokat, érthető, hogy Bruckner Győző nem lehetett a Nobel-díj várományosa, hiába predesztináltak volna erre az eredményei.

A Bruckner-könyv első kötetét Földy Zoltán, Müller Sándor és Zemplén Géza bíralták. Földy és Müller a gyógyszeripar, a szerves kémia ipari nagyságai részletes, segítő, elismerő bírálatot adtak. Zemplén Géza bírálata azonban sértő, rövid és használhatatlan volt. Kifogásolta, hogy a könyv az elméleti részeket úgy állítja be, mintha ez lenne a szerves kémia lényege és csúcspontja, pedig – szerinte – a szerves kémia a helyesen végrehajtott kísérletek összessége, amelyek örökbecsűek. Ezzel szemben az állandóan változó elméletek igyekeznek magyarázatot találni a kísérleti tényekre. Azonban ezek a magyarázatok az idők folyamán változnak, és a megállapítások nem mindig örökéletűek.

Bruckner professzor ezeket a megállapításokat tárgyilagosan adott hivatkozásokkal cáfolta. Zemplén professzor azonban nem vette, vagy nem akarta figyelembe venni, hogy a kornak megfelelően (1952) a szerves kémia is, mint minden tudomány, gyorsuló tempóban fejlődik. Én úgy látom, hogy a Zemplén professzor által képviselt felfogás – „előállítjuk a vegyületet, és leírjuk hogyan” – törvényszerűen kiegészül a Bruckner professzor által képviselt folytatással – választ kell adni, hogy mi történik a reakcióelegyben és miért.

Tehát 70 éve, két rendkívül eredményes, a maga területén egyedülálló szerves kémikus egyéniség között nem alakult ki egyetértés arról, hogy mit és hogyan kell egyetemi szinten a leendő szerves ké-

mikusoknak oktatni. Leegyszerűsítve: Zemplén Géza szerint az adott molekulát a szükséges vegyületekből, a megfelelő reakciókkal elő kell állítani és leírni, míg Bruckner Győző szerint ezen túlmenően azt is le kell írni, hogy mi történik a reakcióelegyben és miért, mik a működő törvényszerűségek.

Ezeket a kísérleteket azóta egyre több műszeres mérés egészíti ki, amelyek gyors válaszokat adnak, és így sokkal intenzívebbé válik a kutatás. Az új felismerésekhez, az intermedierek és a reakcióik kiválasztásához nagyban hozzájárulnak. Ezek a műszerek a legtöbb esetben rendkívül képzett szakemberek dolgoznak, akik a területnek ugyanolyan kutatói, mint a velük közösen dolgozó szerves kémikusok. Mind-egyik területen nélkülözhetetlenek az egyéni adottságok és rutin, amiket nem lehet pótolni, tehát az együttműködés létszükség. Ugyanakkor az egymással szembeni elvárások, az eltérő szemléletek, a másik szemlélet nem egyenrangúnak való elfogadása különösen sokat árthatnak (például egy-egy bírálat esetén).

A tudományos közéletben az impaktfaktornak, a hivatkozások számának és a Hirsch-indexnek egyre nagyobb jelentőséget adnak, ezek tükrében (bűvkörében) a mérhető adatok bármilyen nagyok, elfedhetik egy-egy kutatócsoport akár rendkívül kiemelkedő eredményeit is. Gátolhatja az elmélyült munka elismerését, megbecsülését. Ez mindenképpen a szakmai színvonal, a hasznosítható, de különleges eredmények megszületése ellen hat.

Mindezeket már Kucsman Árpád is érzékelhette az alatt a 42 év alatt, mialatt önfeláldozó tankönyvírói munkája mellett szerves kémiai kutatásait is folytatta.

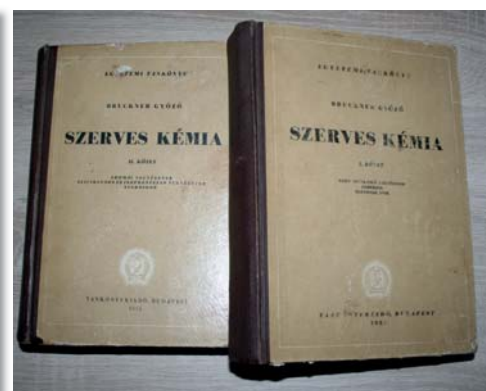
Kucsman professzor mint tankönyvíró, folytatva Bruckner Győző professzor munkáját, az újabb és újabb felismerések folyamatos bemutatásával olyan alkotó szerves kémiai munkát is végzett, mellyel túllépte a szokásos szerves kémiai tankönyvek szigorú, de leegyszerűsített rendjét.

Kucsman Árpád professzor életútját a Fasori Evangélikus Gimnázium legendás szelleme készítette elő, majd mint egyetemi hallgató az Eötvös Kollégium tagja volt, akit az ELTE díszdoktorrá avatott, és 23 évig vezette a Bruckner-tanszéket. Úgy vélem, hogy a már akkor is (különböző mutatókkal) túlszabályozott tudományos életünket elmélyült munkája során nem érzékelt eléggé, és így az MTA nem választotta tagjai sorába.

Fogassy Elemér



KUCSMAN ÁRPÁD



magyar kémikusok lapja

51. ÉVFOLYAM 9. SZÁM

Adszorpció és stabilitás organikus biner elegyekben

DÉKÁNY IMRE*

Bevezetés

A nagy diszperzitásfokú szilícium-dioxid részecskéket (aeroszilek) tartalmazó diszperziók reológiai vizsgálatával számos közlemény foglalkozik [1–4]. A nemvizes rendszerekben a szilikaszuszpenziók reológiai viselkedésének tanulmányozásánál végzett vizsgálatok jelentős része elsősorban a közeg befolyását elemzi a részecskék közötti adhézió vonatkozásában. A vizsgálatok eredményeiből valóban kiderül, hogy az elegyek, vagy oldatok összetétele alapvetően meghatározza a folyásgörbék lefutását, de a részecske felületén lévő adszorpciós rétegstabilizáló, vagy destabilizáló szerepére a szerzők csak a polimerek adszorpciójánál utalnak [4]. Biner elegyek adszorpciójának befolyásoló szerepéről, a réteg összetételének meghatározásáról és ezen rétegtözzsetéttel részecske–részecske kölcsönhatást befolyásoló szerepéről nagyon kevés szakirodalmi utalás található.

Vizsgálatainkban a szerves biner elegyekben (benzolban és *n*-heptánban valamint metanolban és benzolban) viszonylag jól diszpergálható hidrofóbizált aeroszil R-972 (Degussa termék) híg szuszpenzióit vizsgáltuk alacsony nyírássebesség-gradiens tartományban ($\gamma = 0,3 - 300 \text{ s}^{-1}$). Ez a mérési metodika lehetővé teszi, hogy az aggregált – flokkulált szerkezetben a nyírás hatására bekövetkező kismértékű változásokat is érzékenyen regisztráljuk. Az adszorpciós mérések az aeroszil szuszpenziók esetében egyszerűen elvégezhetőek, és a többletizotermák az adszorpciós réteg összetételének meghatározása érdekében analizálhatók. Így munkánk célja az, hogy a szuszpenziók reológiai paramétereinek és az adszorpcióra jellemző mennyiségek (a réteg térfogata és vastagsága) birtokában megvizsgáljuk a kapcsolat létét és jellegét az adszorpció, a stabilitás és a reológiai sajátosságok között.

A stabilitásra vonatkozó vonzási potenciálfüggvények számítását azzal pontosítottuk, hogy optikai diszperzió mérésével meghatároztuk a teljes elegysorban a Hamaker-állandókat és külön számítottuk ezen értékeket az adszorpciós rétegben. A távolságok számításánál azt is figyelembe vettük, hogy a lioszférák vastagsága változik az elegy összetételével.

* JATE Kolloidkémiai Tanszék, Szeged

A szuszpenziók reológiai tulajdonságaira vonatkozó összefüggések

A Bingham-féle folyáshatár és a szeparációs energia meghatározása pseudo-plasztikus folyásgörbéknel

A szuszpenziók reológiai tulajdonságait a részecske/részecske és a részecske/diszperzióközeg kölcsönhatás határozza meg. Newtoni folyású diszperziók reológiai viselkedését híg rendszerekben az Einstein-egyenlettel [5] írhatjuk le:

$$\eta = \eta_0(1 + C\Phi), \quad (1)$$

ahol η és η_0 a szuszpenzió és a szuszpenziós közeg viszkozitását, Φ a szilárd részecskék térfogattörtjét, C a geometriai betöltöttséget (tértöltést) jelenti.

Einstein az (1) összefüggés levezetésével a részecskék jelenléte miatt a viszkozus energia növekedésével számolt. Couette-folyás esetén a térfogategységre számított teljes energiaszétaszóródás:

$$E_E = \tau\gamma = \eta_0\gamma^2(1 + C\Phi), \quad (2)$$

ahol γ a nyírássebesség-gradiens és τ a nyírófeszültség.

A töményebb szuszpenziók viszkozitására levezetett egyenletek mindegyikénél a szerzők törekvése az volt, hogy kis szuszpenziókonzentrációnál a függvény alakja az Einstein-egyenletbe menjen át. A szuszpenziók viszkozitása nemlineáris növekedésének leírására számos szerző vállalkozott [6–10].

Firth jól használható összefüggést vezet le a pseudo-plasztikus, illetve Ostwald-féle folyásgörbékre és a Bingham-féle folyáshatár, illetve a szeparációs energia közötti összefüggésre [11, 12]. A folyási viselkedést azon elképzelés segítségével magyarázza, hogy a kis nyírásnál a nyírómező hatására bekövetkező ütközések száma összehasonlítható a Brown-mozgás miatti ütközések számával, míg nagy nyírásnál a Brown-mozgás elhanyagolható. Az instabil diszperziók pseudo-plasztikus folyásgörbéknel található Bingham-féle folyáshatárt a van der Waals-erők tartományába eső kölcsönhatásokkal és más egyéb disszipációs mechanizmusokkal értelmezzük a diszpergált részecskék között [13, 15].

Ha egy ütközési-doublettben két részecske szétválasztásához E_{SEP} energia szükséges, és γ nyírás esetén $n_D(\gamma)$ doublett esik szét a nyírás térben, akkor az energiafelhasználás a következő:

$$E_D = n_D(\gamma)E_{SEP}. \quad (3)$$

Az Einstein-féle egyenletet felhasználva kapjuk:

$$E = \gamma\tau = \gamma^2\eta_{app} = E_E + E_D = \gamma^2\eta(1 + C\Phi) + n_D(\gamma)E_{SEP}, \quad (4)$$

ahol η_{app} a látszólagos viszkozitás. A folyásgörbe ekkor leírható a

$$\tau = \gamma^2\eta(1 + C\Phi) + n_D(\gamma)E_{SEP}/\gamma \quad (5)$$

egyenlettel.

Hasonló kifejezéshez jutott pseudo-plasztikus rendszerek vizsgálatánál Goodeve [16] és Gillespie [17]:

$$\tau_B = \frac{3\Phi^2}{2\pi^2r^3}E_{SEP}, \quad (6)$$

ahol τ_B az ún. Bingham-féle folyáshatár, amely a folyásgörbe lineáris szakaszának extrapolációjával meghatározható.

A τ_B és Φ^2 közötti lineáris kapcsolatot Michaels és Bolger [13] kísérleti adatai is megerősítik.

Firth és Hunter flokkulált kolloid szuszpenziókra kidolgozták az elasztikus flokkulum modellt [18–23]. E modellenél az alapfolyáségség egy elasztikus flokkulum, amely a nyírt rendszerben fellépő rotációs és kölcsönös ütközések közben elviseli a nyújtást és összenyomást. A modell kiválóan alkalmas a kolloid- és folyadék-tulajdonságok közötti összefüggés leírására koagulált szólóknál, a modell kezelhetősége nehézkes [24].

Biner elegyek adszorpciója a folyadékfázisban diszpergált részecskék felületén

Ha a szilárd részecskéket folyadékban diszpergáljuk, felületükön a szilárd–folyadék határfelületi kölcsönhatások miatt adszorpciós réteg, ún. lioszféra képződik. Az adszorpciós réteg anyagtartalma a szilárd részecske adszorpciós kapacitása, amely biner elegyben az ún. adszorpciós többletizoterma ismeretében meghatározható [25–26]. Az adszorpció következtében ugyanis a folyadékélegy kiindulási x_1^0 összetétele x_1 egyensúlyi koncentrációra változik. Ez az $x_1^0 - x_1 = \Delta x_1$ változás egyszerű analitikai módszerekkel meghatározható. A koncentráció-változásból számítható adszorpciós többlet $n_1^{\sigma(n)} = n^0(x_1^0 - x_1)$ és a határfelületi réteg anyagtartalma között az Otwald-de-Izaguirre egyenlet teremt összefüggést [26]:

$$n_1^{\sigma(n)} = n_1^s - n^s x_1 = n^s(x_1^s - x_1) = f(x_1), \quad (7)$$

ahol n^0 a folyadékélegy összes mennyisége a diszperz rendszerben, $n_1^s + n_2^s = n^s$ az adszorpciós réteg anyagtartalma, $x_1^s = n_1^s/n^s$ a határfelületi réteg összetétele. Az adszorpciós többletizoterma $n_1^{\sigma(n)} = f(x_1)$ ismeretében az ún. egyedi izotermák a következő egyenletekkel adhatók meg [25, 26]:

$$n_1^s = \frac{r^* n_1^{\sigma(n)} + n_{1,0}^s x_1}{x_1 + r^* x_2}, \quad (8)$$

$$n_1^s = \frac{n_{1,0}^s x_2 - n_1^{\sigma(n)}}{x_1 + r^* x_2}, \quad (9)$$

ahol $n_{1,0}^s$ a tiszta 1. komponensre vonatkozó adszorpciós kapacitás, $r^* = V_{m,2}/V_{m,1}$ a komponensek móltérfogatának hányadosa. Az adszorpciós kapacitás ($n_{1,0}^s$) U-alakú többletizotermák esetén az Everett-Schay-féle linearizált függvényből határozható meg [27]. Az adszorpciós kapacitás ismeretében viszont a réteg térfogata a $V^s = n_{1,0}^s V_{m,1}$ összefüggésből adódik. Az adszorpciós réteg térfogati törtje pedig a következő:

$$\Phi_1^s = \frac{n_1^s}{n_{1,0}^s} = \frac{r^* n_1^{\sigma(n)} V_{m,1}}{V^s(x_1 + r^* x_2)} \quad (10)$$

egyenlet szerint számítható a többletizoterma-adatokból.

A szilárd–folyadék határfelületi nedvesedés szabadentalpiája és az adszorpciós réteg vastagsága

A szilárd–folyadék határfelületek adszorpciós szabadentalpiája az $n_1^{\sigma(n)} = f(x_1)$ izoterma ismeretében a Gibbs-egyenlet alapján számítható [25]:

$$\Delta_{21}G = - \int (n_1^{\sigma(n)} / x_2 a_1) da_1. \quad (11)$$

A fenti egyenletben $a_1 = f_1 x_1$ az 1. komponens aktivitása, amely folyadék–gőz egyensúlyi adatok ismeretében a Redlich–Kister egyenletek segítségével számítható [34].

A különböző adszorpciós többletizoterma-típusok (U és S alakú függvények) természetesen különböző $\Delta_{21}G = f(x_1)$ szabadentalpia-függvényeket szolgáltatnak, amelyek lefutása jellemző az S/L határfelületi nedvesedés energiaminimumára, amely diszperz rendszer stabilitására is jellemző adat.

A diszperz rendszerekre vonatkozó stabilitás-számításoknál lényeges a stabilizáló adszorpciós réteg vastagságának ismerete. Ha a részecskék fajlagos felületét (a^s) ismerjük, akkor a réteg vastagsága $t^s = V^s/a^s$, amely a (10) egyenletből számítható:

$$t^s = n_1^{\sigma(n)}(V_{m,1}/a^s x_1)[\Phi_1/(\Phi_1^s - \Phi_1)], \quad (12)$$

ahol Φ_1^s az adszorpciós réteg, Φ_1 pedig a folyadékfázis térfogati törtje az adszorpciós egyensúlyban. A fenti egyenlet szerint számított t^s rétegvastagság közel állandó, de nemideális folyadékélegyeknél jelentősen változhat a folyadékfázis összetételével [33–35].

Az immerziós nedvesedés entalpiája biner elegyekben

Az immerziós nedvesedési hő, mint a szilárd–folyadék kölcsönhatásra jellemző termodinamikai adat az Everett-féle adszorpciós rétegmódel szerint [33–35] a rendszeralkotó komponensek entalpiáinak ismeretében egyszerűen megadható.

Amikor az $n_1^0 + n_2^0$ mennyiségű folyadékkegelybe be-
merül a szilárd adszorbens, az adszorpciós erők követ-
keztében $n_s = n_1^s + n_2^s$ anyagtartalmú adszorpciós réteg
képződik a felületen.

A nedvesedési entalpiaváltozás *Everett* szerint [31] a
következő összefüggéssel adható meg:

$$\Delta_w H_t = H_e - H_i = (n_1 - n_1^0)h_1 + (n_2 - n_2^0)h_2 + n_1^s h_1^s + n_2^s h_2^s + H^{se}(x_1^s) + H^e(x_1) - H^e(x_1^0). \quad (13)$$

A (13) egyenlet feltételezi azt, hogy a nedvesedés kö-
vetkeztében a szilárd adszorbens entalpiája nem válto-
zik meg. Bevezetve a móltörteket és az $n^0(x_1^0 - x_1) = n^s(x_1^s - x_1)$ anyagmérleget, a (13) egyenlet a következő
formában írható fel [31]:

$$\Delta_w H_t = n^s x_1^s (h_1^s - h_1) + n^s x_2^s (h_2^s - h_2) + H^{se}(x_1^s) + \Delta H^e(x_1), \quad (14)$$

ahol $\Delta H^e = H^e(x_1) - H^e(x_1^0)$, a tömbfázis elegyedési
entalpiaváltozása. Adott folyadékkegely esetében $\Delta x_1 = x_1^0 - x_1$ ismeretében $\Delta H^e(x_1)$ függvény a szakirodalomban
található elegyítési entalpiafüggvényből számítható.
Ha kizárólag az adszorpciós réteg vonatkozó entalpia-
változásra van szükségünk, akkor $\Delta H^e = f(x_1)$ függ-
vénnyel korrigálni kell $\Delta_w H_t = f(x_1)$ függvényt.

Bevezetve az x_1^s felületi móltörtek helyett a térfogati
törteket (Φ_1^s, Φ_2^s) a (14) egyenlet a tiszta komponensek-
ben mért nedvesedési hő ($\Delta_w H_1^0$ és $\Delta_w H_2^0$) ismeretében
egyszerűen megadható [31]:

$$\Delta_w H_t - \Delta H^e = \Phi_1^s \Delta_w H_1^0 + \Phi_2^s \Delta_w H_2^0 + H^{se}(x_1^s). \quad (15)$$

A Hamaker-állandók és a vonzási potenciálfüggvény számítása

Gregory [36], valamint *Tabor* és *Winterton* [37] a
részecskék közötti vonzási potenciálfüggvény ún. Hama-
ker-állandóját a statikus dielektromos állandóból vezette
le. Ha a klasszikus elektrodinamikában a Maxwell-
relációt alkalmazzuk, ui. $\epsilon = n^2$, akkor a Lorenz-
Lorenz-egyenlet a következő módon írható fel [38]:

$$\alpha = \frac{3}{4\pi N} \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{3}{4\pi N} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}, \quad (16)$$

ahol α az átlagos polarizálhatóság, N a térfogategység-
ben lévő molekulák száma, ϵ a dielektromos állandó és
 n a törésmutató. Bevezetve a polarizálhatóság frekven-
ciafüggését és figyelembe véve azt, hogy $\omega = 2\pi\nu$, ahol
 ν az elektromágneses rezgés frekvenciája. *Gregory* a kö-
vetkező összefüggést adta meg [36]:

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{M}{\rho} = \frac{e^2 N_A}{3\pi m_e} \frac{s}{\nu_k^2 - \nu^2}. \quad (17)$$

A fenti összefüggés lényegében a törésmutató hullám-
számfüggését mutatja, amely az adott közegre nézve az
optikai diszperzió mérését jelenti. A (17) egyenletben M

a közeg móltömege, ρ a sűrűsége, e az elektron tölté-
se, m_e a tömege, s a diszperziót okozó elektronok szá-
ma, ν_k a karakterisztikus diszperziós frekvencia, N_A az
Avogadro-szám. A látható fény hullámszám tartományá-
ban a (17) egyenlet $(n^2 + 2/n^2 - 1)$ vs. ν^2 reprezen-
tációja egyenest ad, amelyből s és ν_k meghatározható.
A Hamaker-állandó (A) *Gregory* [36], valamint *Tabor* és
Winterton [37] szerinti számítása a következő egyenlet
szerint történik:

$$A = \frac{27}{64} h \nu_k \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right)^2, \quad (18)$$

ahol h a Planck-állandó.

A részecskék közötti vonzási potenciál a Hamaker-
állandók segítségével leírható *Visser* és *Hamaker* átfogó
munkája alapján [39, 40], akik a London-féle kölcsön-
hatások számítását fejlesztették tovább makroszkópikus
gömbalakú részecskék között. *Vold* [40] a számítások-
nál figyelembe vette, hogy a részecskéket t^s vastagsá-
gú lioszféra veszi körül. Adszorpciós réteggel rendelke-
ző kolloid részecskék közötti van der Waals vonzási erők
számítását *Vincent* és munkatársai fejlesztették tovább
[41, 42], és V_A vonzási potenciálra a következő egyen-
lettel számoltak:

$$V_A = -\frac{1}{12} \left[H_{I_s}(A_{I_s}^{1/2} - A_m^{1/2})^2 H_P(A_P^{1/2} - A_{I_s}^{1/2})^2 + 2H_{Pl_s}(A_P^{1/2} - A_{I_s}^{1/2})(A_m^{1/2} - A_{I_s}^{1/2}) \right] \quad (19)$$

A_{I_s} és H_{I_s} a lioszféra, A_P és H_P a részecskére vo-
natkozó Hamaker-állandó és $H(x, y)$ távolságfüggvény.
 H_{Pl_s} a részecske – folyadék határfelületre vonatkozó tá-
volságfüggvény, míg A_m a közeg Hamaker-állandója.
Mi ebben a munkánkban a (19) egyenletet abban az
értelemben korrigáltuk, hogy az A_{I_s} Hamaker-állandót
az x_1^s összetételű adszorpciós rétegre adtuk meg és a
 $H(x, y)$ függvényekben nem állandó — és feltételeztük
— t^s rétegvastagsággal számoltunk, hanem az adszorpció
többlettermékből származó, (12) egyenlet szerin-
ti — az egyensúlyi összetétel függvényében változó — t^s
értékeket használtuk fel. A fenti (19) egyenlet segítségé-
vel adott h részecsketávolságnál a teljes elegyösszetétel-
tartományban kiszámítható a V_A vonzási potenciál, illet-
ve adott összetételnél, vagy tiszta folyadékban a vonzási
potenciálfüggvény $V = f(h)$ értéke.

Kísérleti anyagok és módszerek

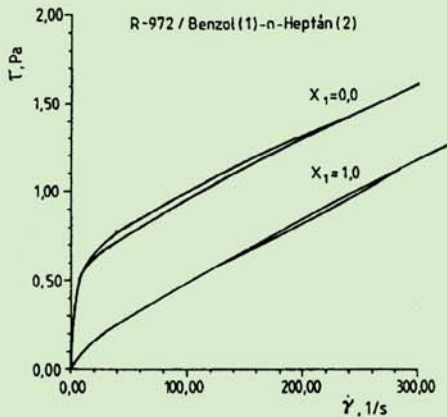
A reológiai mérésekhez alkalmazott diszperziós közeg
molekulaszűrővel víztelenített benzolból, n -heptánból
és metanolból készült elegyosorozat volt. Szuszpendált
anyagként aeroszil R-972 hidrofobizált SiO_2 -t használt-
unk. A diszpergált minta fajlagos felülete $200 \text{ m}^2/\text{g}$,
az átlagos részecskeátmérő 10 nm . Felhasználás előtt
az aeroszilt 60°C -on vákuum-száritószekrényben ki-
szárítottuk és ott tároltuk. A vizsgálatokhoz alkalmas
szuszpenzió-koncentráció $0,2 \text{ g aeroszil}/10 \text{ cm}^3$ elegy.

A diszperzió viszkozus sajátságait HAAKE Rotovisco
RV-20, CV-100 mérőrendszerrel vizsgáltuk ME-30 mé-
rőfejjel, PG-242 programadó segítségével, $25 \pm 0,2^\circ\text{C}$

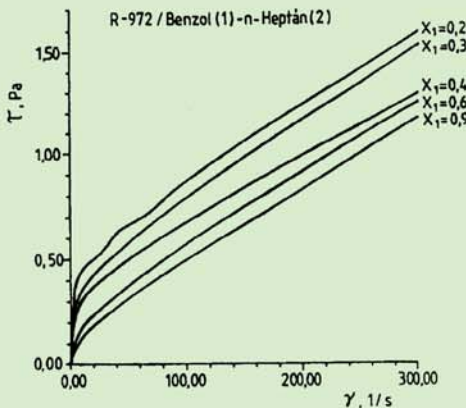
konstans hőmérsékleten termosztálva. Az elegyadszorpció méréseket ugyanezen rendszerben végeztük és a (7) egyenlet szerint kiszámítottuk az $n_1^\sigma = f(x_1)$ adszorpció többletízotermákat [30].

A nedvesedési entalpiákat LKB 2107 típusú izoterm szorpció kaloriméterrel mértük a folyadékokban és az elegyekben $25 \pm 0,01$ °C hőmérsékleten. A mérésekből a $\Delta_w H - f(x_1)$ immerziós nedvesedési entalpiaizotermákat adtuk meg [30, 33–35].

A Hamaker-állandók meghatározása céljából a tiszta komponensek és az elegyek törésmutatójának hullámhosszfüggését optikai goniométerrel mértük prizma alakú küvetében, vonalas Cd-Hg spektrálművet alkalmazva. A minimális deviáció szögéből a törésmutatót kiszámítottuk 9 különböző hullámhossznál.



1a. ábra. Az aeroszil szuszpenziók folyásgörbéi a tiszta elegykomponensekben



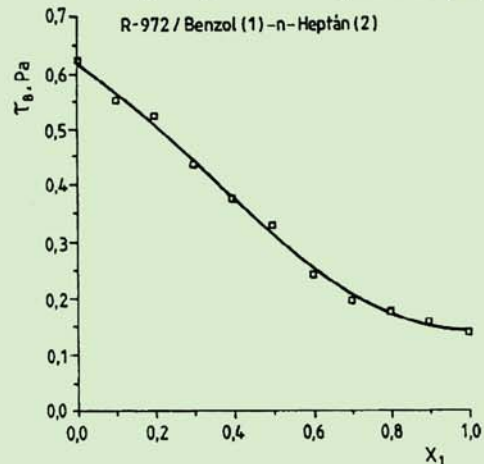
1b. ábra. Az aeroszil szuszpenziók folyásgörbéi különböző összetételű elegyekben

Eredmények és értékelésük

Először vizsgáljuk meg, hogy különböző összetételű benzol(1)–n-heptán(2) elegyek esetén a teljes elegyedési sorban milyen eredményeket kapunk az R-972 hidrofób aeroszil diszperzió reológiai vizsgálatánál. Az 1a. ábrán a tiszta elegykomponensekben készített 2 g/100 cm³ koncentrációjú diszperzió folyásgörbéit mutatjuk be. Az

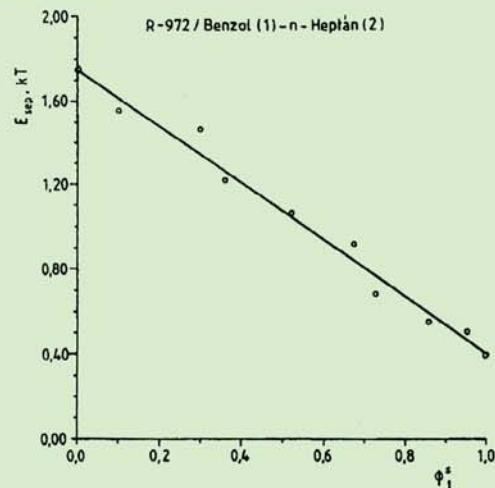
ábrából kitűnik, hogy a „felszálló” és „leszálló” folyásgörbe nem esik egybe, hiszterézis-hurkot alkot, gyenge tixotrópia mutatkozik. A teljes elegysorozatban az aeroszil szuszpenziók a folyásgörbék sorozatát adják, amelyek közül a jellegzeteseket az 1b. ábrán mutatjuk be. A teljes elegyedési sorban nem-newtoni viselkedést tapasztalunk, a nyírófeszültség nem lineárisan növekszik a sebességgrádienssel. Igen kis nyírásebesség esetén látványos rugalmas feszültség mutatkozik, ennél nagyobb értékeknél pszeudoplasztikus a viselkedés.

A Bingham-féle összefüggést, $\tau = \tau_B + \eta_{pl}\dot{\gamma}$ felhasználva kiszámíthatjuk a folyásgörbékéből az η_{pl} plastikus viszkozitást és a τ_B Bingham-féle folyáshatárt [43].



2. ábra. Az aeroszil szuszpenziók Bingham-féle folyáshatára a teljes elegyedési sorozatban

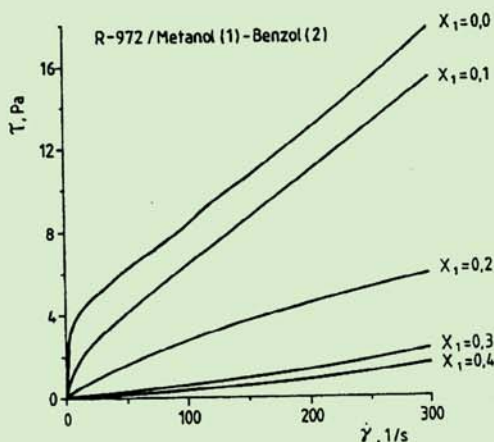
A 2. ábra a τ_B folyáshatár változását mutatja a benzol móltörtjének növekedése függvényében. Mivel a folyáshatár a részecskék közötti kölcsönhatásra jellemző érték (l. a (6) egyenletet), megállapítható, hogy az elegyközeg összetétele jelentősen befolyásolja a szilikarészecskék aggregációját és a benzol mennyiségének növekedésével csökken az aggregátumok mérete, azaz a részecskék közötti adhézió kisebb lesz, ami a stabilitás növekedését jelenti.



3. ábra. A szeparációs energia változása a határfelületi rétegben lévő benzol mennyiségével

Ha a szeparációs energiát az adszorpciós mérésekből számítható Φ_1^s határfelületi rétegösszetétel függvényében adjuk meg (l. a (10) egyenletet) a 3. ábrából kitűnik, hogy a folyáshatár nagyságát az adszorpciós rétegben felhalmozódott benzol mennyisége határozza meg azzal, hogy feldúsulása az adszorpciós rétegben csökkenti a részek közötti vonzást.

A metanol(1)–benzol(2) elegyekben a teljes elegyedési sorban különböző koncentrációjú R-972 hidrofób aeroszil diszperziókat vizsgáltunk, melyek közül a 8 g/100 cm³ töménységűt választottuk ki részletes elemzésre.

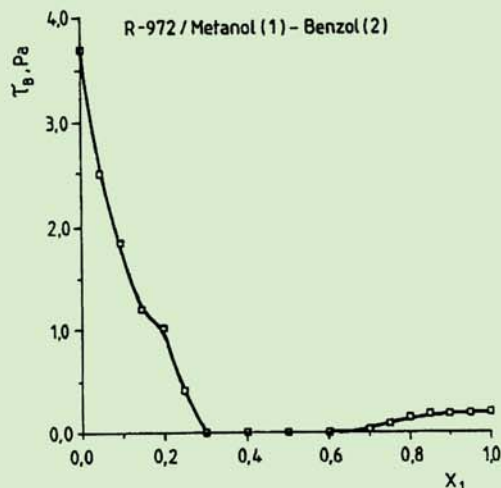


4. ábra. Az R-972 aeroszil diszperziók jellegzetes folyásgörbéi különböző metanol(1)–benzol(2) elegyekben

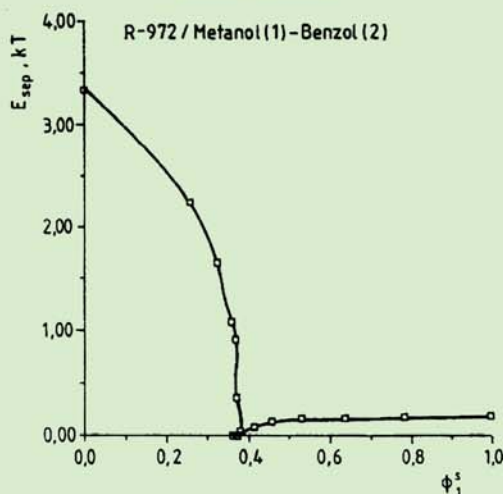
A 4. ábrán az aeroszil diszperziók folyásgörbéit vizsgálva kitűnik, hogy tiszta benzolban legnagyobb a plasztikus viszkozitás és a Bingham-féle folyáshatár értéke, és a metanol mennyiségének növekedése ezen jellemzők csökkenését okozza. Az 5. ábráról láthatjuk, hogy a Bingham-féle folyáshatár a teljes elegyedési sorban minimumgörbe szerint változik és már kis mennyiségű metanol is jelentősen csökkenti a τ_B folyáshatárt. Az $x_1 = 0,3 - 0,6$ móltörttartományban nem észlelhető az adott szuszpenziótöménységnél folyáshatár, tehát newtoni viselkedést tapasztalunk, ami a szilárd részecskék közötti kölcsönhatások minimumára utal.

Miután eredményeink szerint a részecske/részecske kölcsönhatásokat illetően az adszorpciós réteg összetétele döntő szerepet játszik, Φ_1^s függvényében is vizsgáljuk meg a τ_B Bingham-féle folyáshatár változását. A 6. ábráról kitűnik, hogy a Φ_1^s , azaz a metanol mennyiségének adszorpciós rétegbeli változásával a B folyáshatár rohamosan csökken a $\Phi_1^s = 0 - 0,37$ tartományban, majd zérussá válik. Megállapítható, hogy a további benzolkiszorítás (azaz metanol-feldúsulás) kis mértékű folyáshatár-növekedést eredményez. Így a részecskék szétválasztásához szükséges E_{SEP} szeparációs energia egy közbülső összetétel-tartományban zérusra csökken. Az ábra kifejezi, hogy a metanol határrétegbeli mennyiségének változása hogyan befolyásolja a két részecske szeparációjához szükséges energiát.

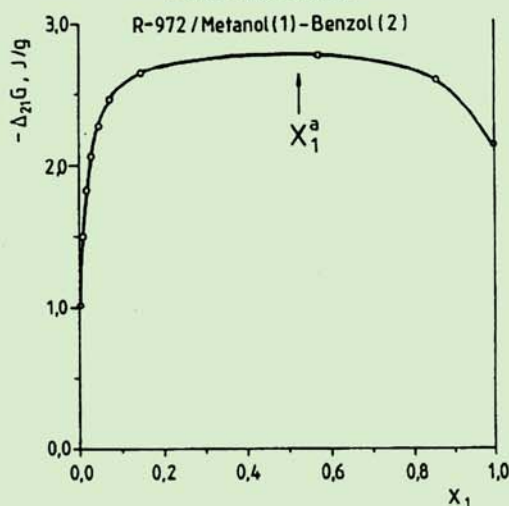
Az adszorpciós többletizotermából a (11) egyenlet alapján $\Delta_{21}G$ adszorpciós nedvesítési folyamatot kísérő



5. ábra. A hidrofób aeroszil diszperziók Bingham-féle folyáshatára a teljes elegyedési sorozatban

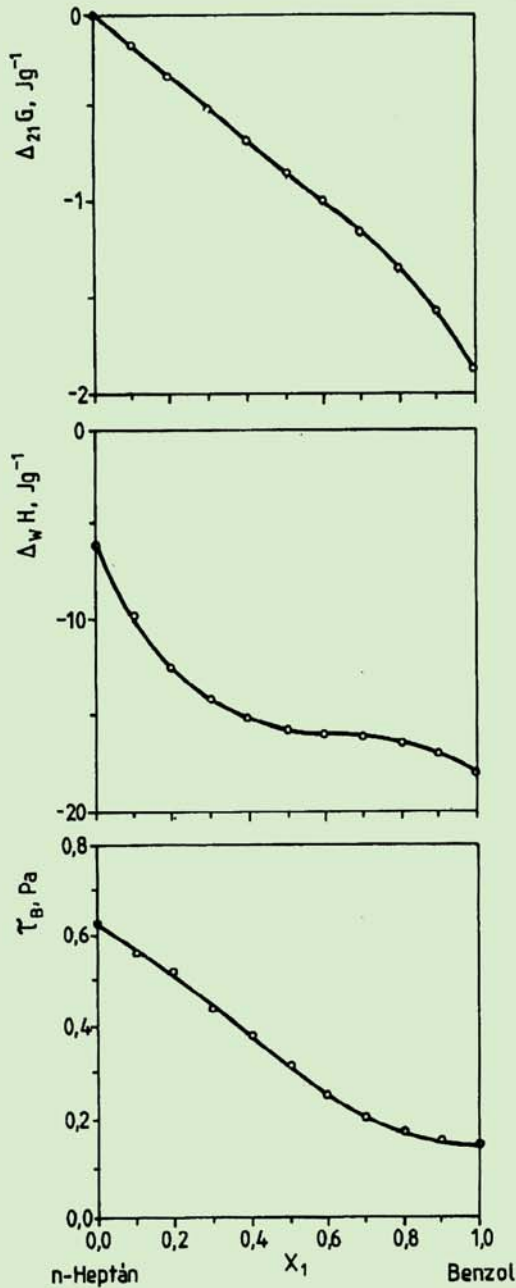


6. ábra. A szeparációs energia változása a határfelületi rétegben lévő metanol mennyiségével

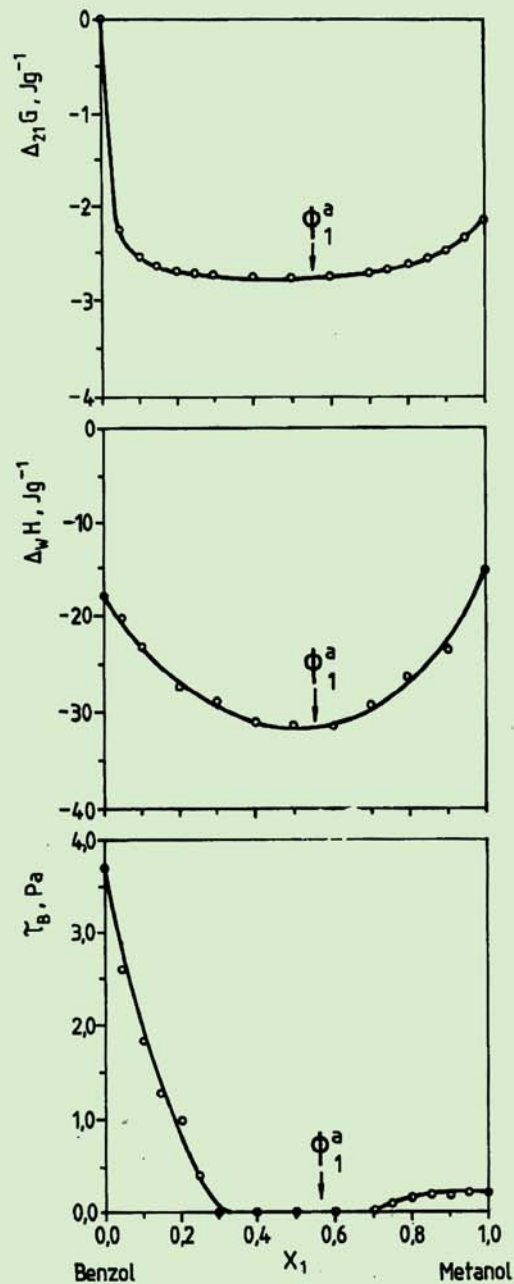


7. ábra. A többlet-szabadenergia változása a részecskék felületén metanol(1)–benzol(2) elegyekben (x_1^a : azeotrop összetétel)

többlet-szabadentalpia változást a 7. ábrán ábrázoltuk. A $\Delta_{21}G = f(x_1)$ függvény szélsőértéke az x_1^a azeotrop



8a. ábra. A reológiai tulajdonságok (τ_B) és a termodinamikai adatok ($\Delta_{21}G$ és $\Delta_w H$) együttes változásának bemutatása benzol(1)–n-heptán(2) elegysorban



8b. ábra. A reológiai tulajdonságok (τ_B) és a termodinamikai adatok ($\Delta_{21}G$ és $\Delta_w H$) együttes változásának bemutatása metanol(1)–benzol(2) elegysorban.

Az ábrán a Φ_1^a azeotrop összetétel környezete a $\Delta_{21}G$ és $\Delta_w H$ termodinamikai potenciálfüggvények minimumát és a maximális kolloid stabilitást jelenti.

összetételnél van. Az azeotropos összetétel után a szabadenergia kis mértékben csökken, ami τ_B csekély növekedését eredményezi.

A benzol–n-heptán elegypárnál a $\Delta_{21}G$ szabadentalpia függvény monoton csökken a benzol adszorpciójának növekedésével (8a. ábra). Ha a $\Delta_w H = f(x_1)$ nedvesedési entalpia-izotermákat összevetjük a szabadentalpia függvényekkel, akkor megállapíthatjuk, hogy a nedvesedési hő is növekszik a benzol feldúsulásával a benzol–n-heptán rendszerrel és benzolban jelentékeny

a szilárd–folyadék kölcsönhatás energiája. Metanol–benzol elegysorban a nedvesedés tovább javul a metanol-adagolás miatt és $x_1 = 0,4-0,6$ tartományban közbülső minimuma van a metanol–benzol rendszerben (8b. ábra). Ha tehát a nedvesedésre vonatkozó termodinamikai adatokat összevetjük a reológiai mérésekkel (8. ábra), megállapítható a párhuzamosság az adszorpciós réteg szerkezetének, összetételének és a nedvesedésnek a döntő befolyása a szuszpenzió részecskéi közötti kölcsönhatásokra. Kiemelkedő a metanol–benzol rend-

szernél az $x_1 = 0,4 - 0,6$ összetétel-tartomány, ahol mindhárom függvény minimuma a rendszer legstabilabb állapotát jelenti.

Az optikai diszperziós mérések alapján a Hamaker-állandókat meghatároztuk mindkét elegy-sorban. A közegre vonatkozó (A_m) és az adszorpciós rétegre (A_{I_s}) vonatkozó állandók értéke jelentősen eltér egymástól (9. ábra), így a $V_A = f(h)$ potenciálfüggvényt jelentékeny mértékben befolyásolják.

Ha a vonzási potenciálokat az adott elegyekben lévő t^s rétegvastagsággal és A_{I_s} és A_m Hamaker-állandókkal számítjuk, akkor benzol- n -heptán elegy-sorban 0,1 nm konstans részecske-részecske távolságnál a benzol nedvesítő hatása a vonzási potenciált csökkenti, teljes összhangban a termodinamikai megfontolásainkkal. A metanol-benzol elegypárnál az $x_1 = 0,4 - 0,6$ tartományban a vonzási potenciálfüggvényből is számítható a minimális vonzási effektus a részecskék között, ami teljesen megegyezik a szuszpenzió newtoni folyási tulajdonságainak megjelenésével és a termodinamikai potenciálfüggvények minimumával.

IRODALOM

- [1] Wang Meng, Jiao — Vidal, A. — Papierer, E. — Donnet, J. B.: Colloid Surfaces, 40, 279 (1989).
- [2] Lee, G. — Rupprecht, H.: J. Colloid Interface Sci., 105, 257 (1985).
- [3] Lee, G. — Murray, S. — Rupprecht, H.: Colloid Polymer Sci., 265, 535 (1987).
- [4] Heath, D. — Tadros, Th. F.: J. Colloid Interface Sci., 93, 320 (1983).
- [5] Einstein, A.: Ann. Physik, 19, 298 (1906); Ann. Physik, 34, 591 (1911).
- [6] Gouth, Simha: Kolloid Z., 74, 266 (1936).
- [7] Eilers, H.: Kolloid Z., 97, 913 (1941).
- [8] Rinkman, H. C.: J. Chem. Phys., 20, 571 (1952).
- [9] Mooney, M. J.: J. Colloid Sci., 6, 162 (1951).
- [10] Krieger, J. M.: Adv. Colloid Interface Sci., 9, 111 (1972).
- [11] Firth, B. A.: Ph. D. thesis, Sydney Univ., Sydney (1975).
- [12] Firth, B. A. — Neville, P. G. — Hunter, R. J.: J. Colloid Interface Sci., 49, 214 (1974).
- [13] Michaels, A. S. — Bolger, J. D.: Ind Eng. Chem. Fundls, 1, 153 (1962).
- [14] Hunter, R. J. — Nicol, S. K.: J. Colloid Interface Sci., 28, 251 (1968).
- [15] Friend, J. P. — Hunter, R. J.: J. Colloid Interface Sci., 37, 548 (1971).
- [16] Goodeve, G. F.: Trans. Faraday Soc., 35, 342 (1939).
- [17] Gillespie, T.: J. Colloid Sci., 15, 219 (1960).
- [18] Firth, B. A. — Hunter, R. J.: J. Colloid Interface Sci., 57, 248 (1976).
- [19] Firth, B. A.: J. Colloid Interface Sci., 57, 257 (1976).
- [20] Firth, B. A. — Hunter, R. J.: J. Colloid Interface Sci., 57, 266 (1976).
- [21] van de Ven — Hunter, R. J.: Rheol. Acta, 16, 534 (1977).
- [22] Hunter, R. J. — Frayne, J.: J. Colloid Interface Sci., 71, 30 (1979).
- [23] Hunter, R. J. — Frayne, J.: Colloid Interface Sci., 76, 107 (1980).
- [24] Hunter, R. J.: Adv. Colloid Interface Sci., 17, 197 (1982).
- [25] Schay G. — Nagy, L. G.: J. Colloid Interface Sci., 38, 302 (1972).
- [26] Kipling, J. J.: Adsorption from Solution on Non-Electrolytes, Academic Press, London, New York, 58 pp. (1965).
- [27] Schay, G.: Proc. Int. Symp. Surface Area Determination (Ed.: Everett D. H. — Ottewill R. H.), Butterworths, London, 273 pp. (1970).
- [28] Aerosil. Gruerdlangen Und Anwendungen, DEGUSSA (1967).
- [29] Tadros, Th. F.: Progress in Colloid and Polymer Sci., 79, 120 (1989).
- [30] Dékány I.: Farbe und Lack, 94, 103 (1988).
- [31] Everett, D. H.: Trans. Faraday Soc., 60 1803 (1964); 61, 2478 (1965).
- [32] Everett, D. H.: in Colloid Science, Vol. 3, p. 66. Chem. Soc., London (1979).
- [33] Dékány I. — Zsednai Á. — Nagy L. Gy. — László K.: Magy. Kém. Folyóirat 93, 400 (1987).
- [34] Dékány I. — Zsednai Á. — László K. — Nagy L. G.: Colloid and Surfaces 23, 42 (1987).
- [35] Dékány I. — Szántó F. — Nagy L. G.: J. Colloid Interface Sci., 109, 376 (1986).
- [36] Gregory, J.: Adv. Colloid Interface Sci., 2, 396 (1969).
- [37] Tabor, D. — Winterton, R. H. R.: Proc. R. Soc. LONDON, Ser. A, 312, 435 (1969).
- [38] Born, M. — Wolf, E.: Principles of Optics, 6th edn. (corrected), Pergamon, Oxford (1989).
- [39] Hamaker, H. C.: Physica, 4, 1058 (1937).
- [40] Vold, M. J.: J. Colloid Sci., 16, 1 (1961).
- [41] Osmond, D. W. J. — Vincent, B. — Waite F. A.: J. Colloid Interface Sci., 42, 262 (1973).
- [42] Vincent, B.: J. Colloid Interface Sci., 42, 270 (1973).

Az irodalomgyűjtés lezárva: 1996. január

ÖSSZEFOGLALÁS

Dékány Imre: Adszorpció és stabilitás organikus biner elegyekben

Hidrofóbizált aeroszil diszperziók reológiai tulajdonságait, nedvesedését és a közeg adszorpcióját tanulmányoztuk benzol- n -heptán és metanol-benzol elegyben és jellemeztük a diszpergált részecskék közötti kölcsönhatásokat. Meghatároztuk az adszorpciós többletizotermát is, hogy megállapíthassuk a biner elegyben diszpergált részecskék felületén az adszorpciós réteg összetételét. Összefüggést találtunk a szuszpenzió szerkezetképzésére jellemző reológiai paraméterek és az adszorpciós réteg összetétele között. Az adszorpciós és nedvesedési termodinamikai adatok birtokában a részecske-folyadék és a részecske-részecske kölcsönhatásokat tanulmányoztuk a hidrofób SiO_2 diszperziók stabilitásának egzakt leírására.

[Magy. Kém. Lapja, 51, 357 (1996)]

SUMMARY

I. Dékány: Adsorption and Stability on Organic Binary Liquid Mixtures

The rheological properties and the adsorption and wetting of dispersion medium was investigated on hydrophobic silica particles in metanol-benzene and benzene- n -heptane mixtures. The interparticle interaction was also investigated. Adsorption excess isotherms were determined to calculate the composition of the adsorption layer on the surface of solid particle. A connection could be established a connection between the rheological parameters and the composition of the adsorbed layer. By knowing the thermodynamic data of adsorption and wetting the particle-liquid and interparticle interaction were calculated to describe the stability of hydrophobic SiO_2 dispersions.

Kolloidkémiai iskolák

Az előző oldalakon szereplő dolgozat legfontosabb mondanivalója az organikus közegű kolloid diszperz rendszerek stabilitásához kapcsolódik. A cikkben magyarul összefoglalt eredmények a két nagy hazai kolloidkémiai iskola irányának és szemléletének összekapcsolása révén születhettek meg.

Már az 1930-as években ismert volt az Ostwald–Buzágh-féle kontinuitási elv, amely szerint a részecske stabilitását a közeghez való folytonos illeszkedése határozza meg. A közeg ugyanis csak abban az esetben tud harmonikusan illeszkedni a részecskékhez, illetve a részecskék a közeghez, ha az eltérő polaritású szilárd részecskék (általában szerves kolloid részecskék, pl. oxidok) felületét módosítjuk. A szerves folyadék polarítására optimált felületi funkcionálizálást kell tehát megvalósítani. A határfelületi adszorpció mennyiségi és termodinamikai sajátságaira irányuló szisztematikus kísérleti munka eredményei alapján meg lehetett határozni azokat a termodinamikai állapotfüggvényeket, amelyekkel lehetőség nyílt az organikus közegű diszperz rendszerek stabilitásának kvantitatív leírására. Az eredmények alapján számítani tudták a részecskék közt ható kölcsönhatások potenciál-függvényeit, amelyek lényegében a részecskék között működő adhéziós erőket jellemzik. A számításoknál figyelembe vették az adszorpció réteg vastagságának elegyösszetétel-függését. Az elegyösszetétel változtatásával meghatározhatóvá vált az optimális polaritás, amely lehetővé tette a rendszer maximális stabilitását, megakadályozva a részecskék koagulációját. A részecskék szeparációs energiájának számításához vizsgálták a kolloid diszperziók reológiai tulajdonságait és az ún. pszeudoplasztikus folyásgörbékből meghatározták a Bingham-féle folyáshatárt.

Dékány Imre és munkatársai már a 70-es években szoros kutatási együttműködést valósítottak meg a BME Fizikai Kémia Tanszékén a Schay Géza és Nagy Lajos György nevéhez kötődő adszorpció iskolával. A szilárd/folyadék határfelületi adszorpció alapvető összefüggéseinek felhasználásával különböző polaritású komponensekből álló kétkomponensű elegyekben (pl. benzol-heptán) elegyadszorpció többletizotermákat határoztak meg. Ezekből számították az adszorpció kapacitást, az adszorpció réteg térfogatát, a határfelületi réteg összetételét. Az adszorpció izotermák ismeretében a Gibbs-egyenlet alapján számítani

tudták az adszorpcióra vonatkozó határfelületi nedvesedés szabadentalpiáját a vizsgált elegyek esetén. Ugyanezen elegysorokban mikrokloriméterrel megmérték az immerziós nedvesedési entalpiákat. A nedvesedési hő birtokában szintén termodinamikai állapotfüggvényekkel jellemezni tudták az optimális stabilitásra vonatkozó folyadékösszetétel-tartományt. Ez kétkomponensű elegyek esetén az adszorpció azeotróppont környezetében van. Ennek alapján megállapíthatták, hogy a maximális kolloidstabilitás biner elegyekben az entalpia- és szabadentalpia-függvények szélsőértékeinél található. A polarizálhatóság ismeretében számított Hamaker-állandók értékeiből és az ezek alapján meghatározható vonzási potenciálok szerint az azeotróp összetétel-tartományban a legkisebb a részecskék közötti adhézió tekintettel a minimális vonzási potenciál értékekre.

A megfelelő polaritású oldószerkomponensek kiválasztásával az adszorpció, valamint termodinamikai adatok ismeretében tehát lehetséges a szerves folyadékokban diszpergált és funkcionálizált felületű kolloid részecskék stabilitásának szabályozása (vagy adott közeg esetén a stabilitáshoz szükséges funkcionálizálás „megtervezése”).

Dékány Imre, László Krisztina



Dékány Imre 1970-ben került a József Attila/Szegedi Tudományegyetem Kolloidkémiai Tanszékére, amelyet 1989-től ő irányított. 2009-ben megalapította a Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszékot, melynek 2011-ig vezetője volt. 2007 óta az MTA rendes tagja.

Tudományos munkásságát a határfelületi termodinamika, a diszperz rendszerek stabilitása, a 90-es évek elejétől az anyagtudomány és a nanoszerkezetű anyagok kutatása

területén is a hazai és a nemzetközi elismertség jellemezte. A szilárd-folyadék határfelületek és a nanodiszperz rendszerek kutatásával kapcsolatos eredményeit tartja a legfontosabbnak. Alapkutatási eredményei a polgári és a katonai védelem, valamint a gyógyszeripar területén is hasznosíthatók, amiről szabadalmi tanúsokodnak. Jelenleg a MOL Nyrt. megbízásával kutatásokat irányít a kőolaj EOR-módszerekkel való kitermelése céljából.

2010-től egyetemi tanárnak nevezték ki Szegeden az ÁOK Orvosi Vegytan Tanszékre is, ahol az MTA–SZTE Szupramolekuláris és Nanoszerkezetű Anyagok Kutatócsoportot vezette.

A JATE tudományos rektorhelyetteseként szervezte az egyetem doktori képzésének akkreditációját, majd az SZTE tudományos rektorhelyetteseként koordinálta az egyetem innovációs munkáját is, és megszervezte az SZTE Innovációs Igazgatóságát. Az IUPAC kolloidkémiai bizottságának két évig a titkára volt. 2016 óta az SZTE két karának emeritus professzora.

Munkáját számos díjjal ismerték el, kiemelnénk a Széchenyi-díjat, a Magyar Érdemrend Középkeresztje polgári tagozata és a Mestertanár kitüntetését. 2021-ben Jedlik Ányos-díjat kapott és elnyerte a Szegedért Alapítvány Fődíját.

Dékány Imre, Nagy Lajos György és László Krisztina Szegeden, Szántó Ferenc kolloidkémikus emléktáblájának avatásán (1995)





TÚL A KÉMIÁN

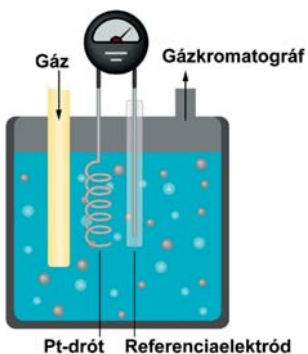
Angolnák, ha vadásznak

A Dél-Amerikában honos elektromos angolnák (*Electrophorus voltaei*) egy korábban még ismeretlen szokását térképezték fel a közelmúltban: a 20 kilogrammosra is megnövő, kígyóyszerű halak gyakran a farkasokhoz hasonlóan, falkákban vadásznak. Egy elkötelezett brazil biológus Amazóniában, az Iriri folyóban, a legközelebb várostól is ötnapnyi utazásra százszámra készített videofelvételeket a mintegy tízfős csoportokban, hajnalban vagy alkonyatkor zsákmányt ejtő angolnákról. Az egyik legérdekesebb kérdés, amit a tanulmány felvet, hogy a vadászatban részt vevő állatok vajon hogyan kommunikálnak egymással. A legújabb megfigyelések arra utalnak, hogy az angolnák egy másik faja, az *Electrophorus electricus* is mutat hasonló viselkedési mintázatokat.

Ecol. Evol. 11, 1088. (2021)



Elektrokatalitikus tér



Folyadékokba merített szilárd részecskék közelében – a határfelületi elektromos jelenségek következtében – jelentős elektromos terek is kialakulhatnak. Ennek a jelenségnek a katalitikus aktivitásra gyakorolt hatását vizsgálták meg kísérletileg a közelmúltban egy klasszikus reakció, az etilén platinán történő hidrogénezése segítségével. Egy megfelelő

segédmolekula és az infravörös spektroszkópia kombinálásával sikerült igazolni, hogy a polarizáltságot, amely az elektromos erőter következménye, a vizes oldat pH-jának segítségével érzékenyen lehet szabályozni. Ezután elektrokémiai módszerekkel azt is sikerült kimutatni, hogy a kialakuló tér nagysága közvetlen hatással van a katalitikus folyamat sebességére. Így az oldatban, szilárd szemcséken lejátszódó kémiai reakciók finomhangolásában a jövőben az elektromos tér szabályozásának is nagy szerepe lehet.

ACS Cent. Sci. 7, 1045. (2021)

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

A rovatszerkesztő korábbi írásait is tartalmazó blog elérhető a következő internet-oldalon: http://lenteg.ttk.ptk.hu/ScienceBits/index_magyar.html

CENTENÁRIUM



James Kendall: The Application Of Ideal Solution Equations To Dilute Aqueous Solutions
Journal of the American Chemical Society, Vol. 43, 1391–1396. (2021. július 1.)

James Pickering Kendall (1889–1978) brit kémikus volt. Dolgozott Stockholmban Svante Arrhenius laboratóriumában, majd Amerikában, a Columbia Egyetemen lett professzor. Később visszatért hazájába, és 1938-ban ő tartotta a Royal Institution híres karácsonyi előadását.

Klímaparát vírus

A Jet Propulsion Laboratory (JPL) és a National Institute of Standards and Technology (NIST) az elmúlt években nagy felbontású CO₂-mérő hálózatot épített ki az Amerikai Egyesült Államokban. Ezeknek az adatai szerint a SARS-CoV-2 miatti korlátozások csúcspontján, 2020 áprilisában az összes részletesen elemzett nagyvárosi környezetben, így Los Angelesben, a Baltimore–Washington DC területen, illetve San Franciscóban is nagyjából 30%-kal esett vissza az üvegházhatású gáz kibocsátása. Ezek az eredmények ugyan a legkevésbé sem meglepőek, de nagyon szépen megmutatják, hogy a kiépített hálózat alkalmas arra, hogy szinte valós időben adatot adjon egy-egy kibocsátáscsökkentő módszer hatékonyságáról.

Geophys. Res. Lett. 47, e2020GL090037. (2020)

Geophys. Res. Lett. 48, e2021GL092744. (2021)



APRÓSÁG

A koronavírus-járvány következményeként Törökországban az Iznik-tó vize annyira kitisztult, hogy a fenékén lévő, 2014-ben felfedezett, 1600 éves Szent Neofitosz-templom romjai szabad szemmel is láthatóvá váltak.

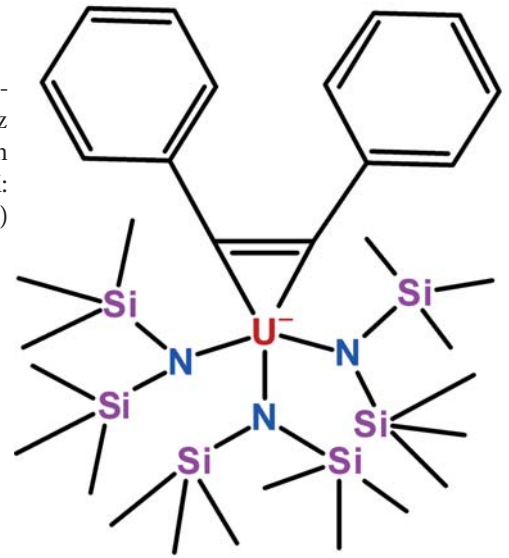




A HÓNAP MOLEKULÁJA

Az ábrán látható anionos, urántartalmú részecske ($C_{32}H_{64}N_3Si_6U^-$) egy kétmagvú, oxihidas urán(III)komplexből képződik $-80\text{ }^\circ\text{C}$ -on, difenil-acetilén hatására. Benne az urán–nitrogén és urán–szén kötéstávolságok egyformák (235 pm), míg a formálisan szén–szén kettős kötés hossza 134 pm. A szén–urán–szén kötésszög meglepően kicsi: mindössze 33° .

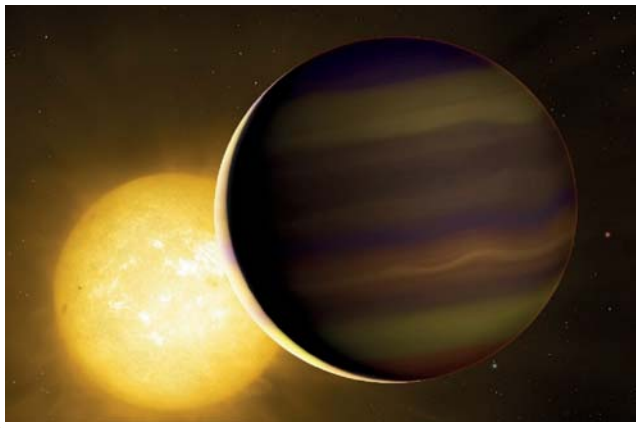
Chem. Sci. 12, 6153. (2021)



Exomolekulák

Egy, a Naprendszerből mintegy 160 fényév távolságra lévő exobolygó légkörében hat különböző molekulát sikerült azonosítani. A HD209458b jelű, csillagászörökben Osiris becenevű bolygó nagyjából a Jupiterrel összevethető méretű gázóriás. A Naphoz nagyon hasonló központi csillagtól mért távolsága a Föld–Nap távolság alig egyhuszada, így ott egy év hossza mindössze három és fél földi napnak felel meg. Érzékeny infravörös spektroszkóp segítségével H_2O , CO , HCN , CH_4 , NH_3 és C_2H_2 jelenlétét is sikerült bizonyítani, az utóbbi három a korábbi adatokból még nem volt felismerhető. A kvantitatív elemzés szerint a gázóriásban a szén és az oxigén teljes anyagmennyisége nagyjából megegyezik.

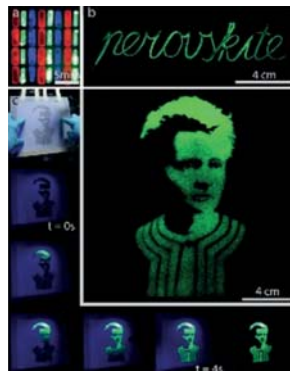
Nature 592, 205. (2021)



Ioncserés litográfia

A perovszkitok érdekes és hasznos elektromos sajátságait eddig azért volt nehéz a gyakorlatban is felhasználni, mert kimondottan nehéz volt két vagy három dimenziós mintázatokat kialakítani a kristályok felületén vagy akár belsejében. Ezt a problémát tette múlt időbe az az új eljárás, amelyet kifejlesztői ioncserés litográfiának hívják. A módszer használatakor az első képet ólom-karbonát-nano-kristályok segítségével alkotják meg, majd metil-ammónium-halogenideket tartalmazó „tintát” porlasztanak rá. A karbonáttartalom ilyenkor szén-dioxidként távozik, a visszamaradó, speciális szerkezetű ólom-perovszkit pedig UV-fény hatására a halogén minőségétől függő színű fényt bocsát ki.

Adv. Mat. 33, 2005291. (2021)



Tartós műszívbillentyű

Manapság a szív egyes részeinek pótlására leggyakrabban állati szövet és fém kombinációját tartalmazó anyagokat használnak, ezeknél azonban a gélalapú műszövetek sok szempontból jobbak lennének. Egy újonnan kifejlesztett, háromdimenziós nyomtatást felhasználó technológia segítségével olyan műszívbillentyűket sikerült előállítani, amelyek élettartama mintegy százszorosa az egyszerű hidrogélből készült változatának. Az új anyag kompozit szerkezetű: vas(III)-karboxilát-komplexekkel megerősített poliakrilamid-poliakrilsav hidrogélt tartalmaz vázként, erre pedig sokkal lágyabb, poliakrilamid hidrogélből készülő bevonatot visznek fel. A háromdimenziós nyomtatás lényege az, hogy a lézerténnyel indukált polimerizáció jelentős részben ebben az előállítási szakaszban megy végbe.

Matter 4, 1925. (2021)

Tisztátalan kézfertőtlenítő

A kézfertőtlenítők iránt nagyon erősen megnövekedett igény számos országban oda vezetett, hogy a hatóságok a korábbinál gyengébb minőségű alapanyagok, például kevésbé tiszta etanol használatát is engedélyezték az ilyen termékek gyártása során. Egy kanadai kutatócsoport ezért 42 különböző alkoholalapú kézfertőtlenítőt vizsgált meg lángionizációs detektort alkalmazó gázkromatográfia segítségével. A minták mintegy negyedénél, 11 alkalommal az acetaldehid koncentrációja nagyobb volt az egészségügyi határértéknél, illetve a technikával azonosíthatatlan, egyéb szennyeződések jelenlétét is igazolták. Mindez arra hívja fel a figyelmet, hogy a termékcsalád hatósági ellenőrzéseit gyakoribbá kell tenni.

Int. J. Environ. Res. Public Health 18, 3766. (2021)





Gál Sándor (1933–2021)

2021. május 16-án elhunyt Gál Sándor vegyész mérnök, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem emeritus professzora, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja. Különleges egyéniség volt, különleges az életút, melyet befutott, és melynek során sok területen ért el nagy hatású eredményeket.

Gál Sándor a Pest megyei Farnoson született egyszerű földműves családban, s a tanyáról, ahol gyerekként nevelkedett, indult el különleges életútjára. Az elemi és az ezt követő szolnoki kereskedelmi iskola után a mérnöki tanulmányokat választotta. A Műegyetemen szerzett vegyész mérnöki oklevelet 1956-ban, és alkalmazást nyert az egyetem Általános és Analitikai Kémia tanszékén.

Ez az ország életében viharos időszak Gál Sándor számára a tudományos pálya megkezdése szempontjából kedvező volt: ekkor vált a tanszék a termikus analízis nemzetközi szinten egyik (több vélemény szerint első számú) vezető műhelyévé a Derivatograph kifejlesztésével. Ez volt a világon az első, kereskedelmi forgalomban kapható szimultán működésű – vagyis egyidejűleg, egyazon mintán többféle mérést végző – termoanalitikai mérőberendezés, Paulik Ferenc, Paulik Jenő és az akkori tanszékvezető, Erdey László alkotása. Ez a mérés technikai fejlődés a termikus analízis mint tudományterület kiszélesedéséhez vezetett, és gyakorlati alkalmazások előtt nyitott utat. Gál Sándor és hasonló korú kollégái e fejlődés részévé válhattak.

Gál Sándor már tanszéki munkássága elején kitűnt sokoldalúságával, ötletességével és az alap kutatás mellett a gyakorlati alkalmazások iránti elkötelezettségével. Az előbbiben Erdey Lászlóval dolgozott együtt a nagy hőmérsékletű sav-bázis reakciók elemétén, az utóbbiban – bővítve szakmai palettáját – vállalatokkal és tanszéki kollégáival együttműködve dolgozott ki, többek között, felületkezelési technológiákat, fejlesztett és épített műszert mágneses tulajdonságok mérésére, és vett részt a magyarországi bauxit-kataszter összeállításában. Mindez – a konkrét megoldásokon túl – nagyszerű felkészülés volt az alaptudományi kutatásokra támaszkodó és egészen a technológiák kidolgozásáig és ipari méretű megvalósításáig terjedő alkotó tevékenységre.

Igen, a ma megszokott és sűrűn használt szóval: az innovációról van szó. Ebben találta meg szakmai tevékenységének hozzá leginkább illő színterét. Az évek múltával a közvetlen gyakorlati alkalmazást ígérő témák súlya tevékenységében nőtt, de ez nem járt az alap kutatás iránti érdeklődésének vagy éppen nemzetközi ismertségének csökkenésével. Kutatási és innovációs tapasztalatai beépültek oktatómunkájába, széles körű tudományos és gyakorlati műveltségét átadva a vegyész mérnök-hallgatóknak.

Szűkebb értelemben vett tudományos teljesítményének elismerése sem maradt el: 1972-ben nyerte el a kandidátusi fokozatot, tíz év múlva lett a kémiai tudományok doktora. 1993-ban választották a Magyar Tudományos Akadémia levelező, 2004-ben rendes tagjává. Szakmai eredményeiért Fodor Lajossal megosztva Állami Díjjal (a Széchenyi-díj elődje) tüntették ki, 1998-ban pedig megkapta a Magyar Köztársasági Érdemrend középkeresztjét.

Sok esetben a termikus analízisben szerzett kutatási tapasztalatára támaszkodott technológiai és eszközfejlesztési megoldásaiban – így például a laboratóriumi méretekől az ipari, nagy teljesítményű berendezésekhez használható új hőmérséklet-programozó-szabályozó berendezés kifejlesztésében. Ezeket hazánkban évtizedeken át használták mind a kutatásban, mind az ipari gyakorlatban.

Gál Sándor itthon legismertebb szakmai eredménye a szorbit-olvadék kristályosításának új megoldása és az eljárás ipari szintű megvalósítása. Ez természetesen nem lehetett egyéni munka,



de ő volt az egész folyamat motorja. A műegyetemi csapatot Fodor Lajos kollégájával és barátjával együtt vezette. A szabadság jogosultja a Budapesti Műszaki Egyetem és a Vegyiműveket Tervező Vállalat volt, a megvalósításban a gyártó, a Péti Nitrogénművek szakemberei is részt vettek.

A Péti Nitrogénművekben, ahol abban az időben egy szabadalmaztatott magyar eljárással állították elő a szorbitot, a termék olvadákkalapotú volt. Bár a szorbit több célra is használható folyékony állapotban (oldatban vagy olvadákként), a legfontosabb alkalmazásokhoz – így a C-vitamin gyártásának kiindulási anyagaként – szilárd, teljesen kristályos állapot a követelmény. Az olvadék azonban nehezen és csak hosszú idő (több nap) alatt kristályosodott a halmazállapot-változásban fel-

szabaduló hó miatt, ráadásul a termék gyakran csak részben volt kristályos. A megoldás lényege: a szorbit-olvadék, levegővel kis cseppekre porlasztva, egy reaktortoronyban találkozik a megfelelő szerkezetű, kisméretű szorbit beoltó kristályokkal, a levegőáram pedig elviszi a fölösleges hőt. A torony aljára leérkező szemcsék már nem tapadnak össze, és rövid idő alatt teljesen kristályossá alakulnak át. A Péti Nitrogénművekben évtizedeken át így gyártották a szilárd szorbitot, a teljes technológiát pedig exportálták is. Jogosan nevezhetjük az itt összefoglalt munkát és eredményeket a múlt század hetvenes-nyolcvanas éveinek egyik jelentős innovációs sikertörténetének.

Az itt felvázolt eljárás elveit, a kutatástól a megvalósításig szerzett tapasztalatokat Gál Sándor és munkatársai több szilárd-folyadék és szilárd-gáz érintkeztetést igénylő folyamat technológiájának fejlesztésében hasznosították. Az alkalmazások jelentős része kapcsolódott a mezőgazdasághoz: így például takarmányozásban használt kétkomponensű adduktumok (karbamid-keményítő, karbamid-zsír-sav) előállításához. Az is jellemző volt (már a szilárd szorbit technológiájának fejlesztésében is), hogy új berendezések kifejlesztésére is sor került, például a szintézisben használt kontakt katalizátorok előállításához vagy a folyamat utáni elválasztásához, vagy tapadásra hajlamos szemcsés szilárd anyagok, porok pontos adagolásához.

Az előzőekben röviden – és a teljesség igénye nélkül – bemutatott eredmények elérése természetesen hosszú időt, sok munkát követelt. Időközben Gál tanár úr csoportja létszámban és sokszínűségben is bővült, a mérnökökön, technikusokon kívül a műhelyben dolgozó szakmunkásokkal és több, időszakosan foglalkoztatott munkatárssal is. Tanár úr a tervekről, a lehetséges megoldásokról mindig meghallgatott bennünket, de utána határozot-



tan döntött. A működésben használt források egyrészt állami támogatásból, másrészt az ipar és a mezőgazdaság számára végzett munkáink bevételeiből származtak. Nem maradhat említés nélkül az sem, hogy tanszékvezetőnk, Pungor Ernő professor, az analitikai kémia világhírű kutatója, hamar felismerte e tevékenység értékét, és azt mindig elismerte és támogatta.

Ebben az időszakban kapta Gál tanár úr csapata a Technikai Analitikai Csoport nevet, melyet mi, a tagok csak „TACS”-ként rövidítettünk. A tanszéken szóban a „Gál Művek” nemhivatalos elnevezés is forgalomban volt – általában elismeréssel, de időnként kis iróniával is. Jó volt a TACS-ban dolgozni, a „törzsgárda” egyben baráti társaság is volt, melynek középpontjában Sándor állt. A jó emberi kapcsolatok ma is fennállnak, bár a csoport létszáma – összhangban az egész felsőoktatást érintő jelentős hallgatói létszámnövekedés mellett lejátszódó nagyarányú oktatói létszámcsökkenéssel – töredékére csökkent.

Az idő múlásával a sikeres szakmai vezetők általában szembe kerülnek azzal a kérdéssel, hogy vállalnak-e magasabb szintű vezetői feladatokat. Így történt ez Gál Sándorral is, aki ebben a feladatkörben is bizonyította különleges képességeit. A Vegyész-mérnöki Karon 1981-ben gazdasági dékánhelyettesi megbízást kapott, melyet 1988-ig látott el, ezt a rendszerváltozás időszakát is magában foglaló dékáni időszak követte (1988–1996). Közben Pungor professor távozása után egy évig megbízott tanszékvezetőként irányította a tanszékét. 1993-tól 2004-ig volt az MTA tanszéki kutatócsoportjának vezetője.

A következőkben kari és egyetemi vezetőként, valamint a Magyar Tudományos Akadémián végzett munkáiból kíséreltem meg felvázolni a legfontosabbakat. Két oka is van annak, hogy nem volt könnyű dolgom. Az egyik a témák, feladatok már említett sokszínűsége. A másik a „főszereplő” emberi természete, magatartása. Gál tanár úr szélesebb körben nem szokott beszélni intézményi és gazdasági vezetői, szervezői tevékenységéről. Kollégáit megkérdezve is arra jutottam, hogy nem emlékszünk olyan esetre, amikor saját személyes szerepét emelte volna ki. Pedig dékánként és a vezetői testületek tagjaként számos olyan kezdeményezése volt, amely nagy hatást gyakorolt a karon, sőt a Műegyetemen kívül, akár a felsőoktatást és a tudományos kutatást érintő országos folyamatokra is. Számára a kitűzött célok elérése volt a fontos.

A múlt század nyolcvanas éveinek végén megindult rendszerváltozás, meghatározóan pozitív folyamatai mellett, új gondokkal is járt. A felsőoktatásban több helyen is radikálisan kellett csökkenteni az alkalmazottak létszámát. Gál Sándor, dékánként, az elkerülhetetlen személyzeti intézkedéseket az egyes emberekre figyelemmel, a következményeket lehetőleg tompítva hozta meg. Másfelől, a nehéz helyzetet lehetőségként kezelve, sok előre mutató kezdeményezés fűződik javaslataihoz. Így karunkon, országosan is az elsők között – de lehet, hogy elsőként – indult el a doktori képzés és alakult meg a doktori (PhD) iskola, melynek első vezetője volt. Ez a megközelítés egyébként jellemző volt rá: ha a karon vagy az egyetemen túlnyúló javaslatot tett, mindig igyekezett azt a saját felelősségi körében a gyakorlatban is minél előbb megvalósítani.

Gál Sándor a kar személyzetének fejlesztésében sem idegenkedett a fejlett országokban szokásos, ám itthon kevésbé használt megoldásoktól: más egyetemről és kutatási intézményekből is jelentős számban kért fel elismert szakembereket, hogy pályázzanak tanszékvezetői megbízásra. A doktori képzés elindításához hasonlóan élen járt a „professzor emeritus” cím megalapításában a Műegyetemen és országosan egyaránt.

Az előbb említett gondok enyhítésében és új kezdeményezések megvalósításában is nagy segítséget jelentett a kar Varga József Alapítványának létrehozása, szintén Gál professor vezetésével, aki dékáni működése befejezése után is hosszú ideig volt a kura-tórium elnöke. Megjegyzem, hogy sem ő, sem a testület többi tisztségviselője nem részesült tiszteletdíjban vagy más anyagi juttatásban soha. Hallgatói és a szakmában aktív nyugdíjasok számára megítélt ösztöndíjak, kari és tanszéki szakmai célok támogatása stb. képezték – és képezik ma is – az alapítványi támogatások legnagyobb részét.

Gál Sándor intézkedései a kar belső működésének fejlesztését is szolgálták, így létrehozta a Kari Műszerközpontot, mely a költséges nagyműszerek közös használatát tette lehetővé. Az egyetemen ő kezdeményezte újabb szint ráépítését a Martos Kollégiumra. Ez a szint hosszú ideig a külföldi vendégoktatók és -kutatók szállásául szolgált, ma elsősorban külföldi diákjaink lakják.

Az új, távlatokat nyújtó fejlődési irányokat Gál professor mindig érdeklődéssel fogadta, és – ha látott bennük lehetőséget – hatékonyan támogatta. Ugyanez volt a helyzet, ha kari munkatárs kereste meg ötletével. Az előbbire a legfontosabb példa az informatika alkalmazásának támogatása. Az egyetem karainak többségét megelőzve, kari és alapítványi forrásból minden tanszék irodájára számítógépet szerzett be, egy újabb hullámban pedig – szintén az egész kart érintő beszerzéssel – az oktatókat és kutatókat támogatta. A bérek kifizetésében és felvételében is bevezette a bankszámlák és az informatikai eszközök használatát. Az informatika tárgy oktatásához kari számítógéplaborokat hozott létre. Egyik kezdeményezője volt az egyetemi hallgatói információs rendszer (HIR) kifejlesztésének és bevezetésének.

Gál professor sokoldalúságára és átgondoltságára a Tudományos Akadémián, valamint állami és egyéb testületekben is építettek. Néhány fontos tisztsége: az MTA Kémiai Osztály Doktori Bizottságának titkára; a Termoanalitikai Munkabizottság elnöke; az MTA Felügyelő Bizottságának tagja; a Tudományos Minősítő



Bizottság (TMB) Kémai Szakbizottságának titkára, majd elnöke; az MKE Felügyelő Bizottságának elnöke; a várpalotai Vegyészeti Múzeum Alapítvány elnöke. Részt vett a világ első termoanalitikai folyóirata, a *Journal of Thermal Analysis* (ma *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*) alapításában és annak szerkesztőbizottságában.

Nyugdíjazása után is még sok éven át dolgozott projektjeinkben, vezette az alapítványt, tapasztalataival, tanácsaival segítette a munkát. Munkatársai megszokták, hogy mind fizikailag, mind szellemileg jó erőben találják. De



Gál Sándor utolsó éveit gyógyíthatatlan, sok szenvedéssel járó betegségben teltek. Más csapás is érte: egyik fiát elvesztette. Felesége, egész családja példamutató odaadással gondozta, mi, közeli kollégái is tartottuk vele a kapcsolatot.

E cikk megírására készülve néhány barátot, kollégát megkérdeztem, mit tartana legfontosabbnak elmondani Sándorról. Itt szeretném megköszönni segítségüket. Egyikük választát idézem: „Jó ember volt.” Nyugodjék békében. Eredményeivel, a tőle tanultakkal, szemléletével, emberségével itt marad közöttünk.
Pokol György

OKTATÁS

Utánpótlásban nincs hiány

Vége ért a 35. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Kémi és Vegyipari Szekciójára



Az Országos Tudományos Diákköri Tanács (OTDT), az Emberi Erőforrások Minisztériuma, az Innovációs és Technológiai Minisztérium, valamint a Magyar Tudományos Akadémia fővédnökségével, továbbá a felsőoktatásban érintett minisztériumok és országos hatáskörű intézmények anyagi támogatásával 2021. május 17–19. között került sor a 35. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Kémi és Vegyipari Szekciójára, melynek az ELTE Természettudományi Kar Kémi Intézete volt a szakmai lebonyolítója. A nehezített (online és hibrid) lebonyolítás sikere csapatmunka eredménye, a koordinációért Császár Attila (ügyvezető elnök), Szalai István (ügyvezető társelnök), Bánóczy Zoltán (ügyvezető titkár), Szabados Ágnes (szervezőbizottsági elnök), valamint Kovács Márton és Simkó Irén hallgatói képviselők feleltek. Május 19-én, az idei OTDK záró rendezvényének részeként került sor a Szekció eredményhirdetésére.

A konferenciára 139 dolgozatot neveztek, melyből 135-öt (négyet angol nyelven) mutattak be. A konferencia programjában tíz, határon túli hallgató és egy középiskolás pályamű is szerepelt. A szekció mind a 15 tagozatában nagyszemű előadásokat hallhattunk változatos témákban, kiválóan felkészült előadóktól, így a zsűri tagjainak igencsak nehéz dolga volt a legjobb pályaművek kiválasztásakor. A tagozati helyezések mellett a konferencia nagyszámú ipari támogatójának, valamint az ELTE Kémi Intézet Vegyész Oktatásért Alapítványának köszönhetően jelentős számú különdíjat és jutalmat is kiosztottunk. Itt emeljük ki, hogy a Pro Scientia Aranyermesek Társaságának különdíját Bugyi Fanni (ELTE Kémi Intézet), míg a Doktoranduszok Országos Szövetségének jutalmát Keresztes Barbara (ELTE Kémi Intézet) kapta. A Roska Tamás Tudományos Előadást ideén Balog Ádám, a Szegedi Tudományegyetem Kémia Doktori Iskolájának doktorjelöltje tartotta. A konferencián elhangzott színvonalas előadásokért külön köszönet illeti a témavezetőket.

Az online konferencia keretét kihasználva több érdekes programra is sor került. Ezek közül kiemelendő, hogy kerekasztal-beszélgetések keretében Sarkadi Livia, a Magyar Kémikusok

Egyesületének elnöke, Gilberte Chambaud, a Francia Kémi Társaság (Société Chimique de France, SCF) közelmúltban leköszönt elnöke, Peter Schreiner, a Német Kémi Társaság (Gesellschaft Deutscher Chemiker, GDCh) elnöke, valamint Angela Wilson, az Amerikai Kémi Társaság (American Chemical Society, ACS) kijelölt elnöke beszélt a kémia és a kémikusok 21. századi kihívásairól, részben hallgatói kérdésekre válaszolva.

Az előadóknak sikeres, tartalmas, eredményekben gazdag pályafutást kívánunk. Bízunk abban, hogy sokan választják a kutatófejlesztői életpályát, és mihamarabb találkozunk a legtöbb előadóval az ország kémi doktori iskoláiban.

Az ELTE TTK Kémi Intézete elkötelezett a középiskolások természettudományos érdeklődésének felkeltésében. A konferencián a középiskolás diákok kémiás véleményvezéreként mutatkozhattak meg a szervezők által hirdetett pályázat keretében. A felhívásra 9 pályamű érkezett, melyből három helyezésben, további kettő pedig különdíjban részesült.

Végezetül megemlíjtük, hogy a tervek szerint 2021. szeptember elején fog sor kerülni az OTDK Plusz rendezvényre, melyen a 35. OTDK-n I. helyezést szerzett hallgatók személyes jelenlét mellett fognak előadni, a Kémi és Vegyipari Szekció esetében az ELTE Kémi Intézetében. A helyezést, különdíjat vagy jutalmat elért hallgatók névsora, a konferenciáról további információk elérhetők a ttk.elte.hu/kemiaOTDK weboldalon.

Bánóczy Zoltán



Vegyipari mozaik

70 milliárd forintos kötvénykibocsátás jöhet a Richternél, amely közölte, hogy szándékában áll a Magyar Nemzeti Bank által meghirdetett Növekedési Kötvényprogram keretein belül kötvényeket kibocsátani, ehhez meg is kapta a Scope Ratingstól a szükséges minősítést, sőt, az MNB által elvárt szinthez képest 6 fokozattal jobb, BBB+ minősítést kapott a kötvény és a vállalat is (az elvárt szint legalább B+ minősítés egy, az Európai Értékpapírpiazi Hatóság által nyilvántartásba vett hitelminősítőtől).



A hitelminősítő indoklása szerint a Richter pénzügyi profilja erős, versenypozíciója stabil és jó növekedési kilátásai vannak. Hozzáadték: a vállalat stabil készpénzállománnyal és konzervatív pénzügyi politikával működik. A cég kilátásaival kapcsolatosan megjegyezték: a Richter hamarosan nyereségének kétharmadát az innovatív gyógyszeripari termékek piacáról szerzi majd.

A Richter hozzáteszi, hogy a Scope Ratings legfeljebb 70 milliárd forintnyi kötvény kibocsátásával számol. A hazai tőzsdei nagyvállalatok közül a Mol és a Magyar Telekom is bocsátott már ki kötvényeket az NKP keretein belül. Ha a Scope által számolt maximális, 70 milliárd forintos összegű lesz a kibocsátás, az a legnagyobbak közé tartozna, eddig a Magyar Telekom a csúcstartó 70,8 milliárd forinttal. *(Portfolio)*



RICHTER GEDEON

A Richter nem fejleszt koronavírus-vakcinát. Bevételnövekedést vár az idei évre a Richter, az alapforgatókönyvben nem számolnak negyedik járványhullámmal és a cél akkor lesz tartható, ha a devizaárfolyamok nem szállnak el. Orbán Gábor a HVG-nek adott interjú során elmondta, hogy miért nem fejlesztenek koronavírus-vakcinát, és megosztott részleteket az állami rendelésre gyártott, koronavírusos betegek kezelésére használt remdesivirrel kapcsolatban is.

A világválság egészségügyi válságként indult és gyorsan kiderült, hogy a járvány teher a Richter számára is. Bár a vitaminok kelendők lettek, a Richter vényköteles gyógyszereket gyárt, és azt is megérezte a cég, hogy elmaradt az influenzaszézon. Az amerikai és az orosz piac sem teljesített úgy, ahogy a vállalat korábban várta.

A szállítványozás drágább lett, ami miatt több száz millió forinttal elszállhattak volna a költségek, de amit csak lehetett, áttett a légi fuvarozásból hajóra és közútra a Richter, így sikerült ezen úrrá lenni.

Az Evra fogamzásgátló tapasz felvásárlásával kapcsolatban a cégvezér elmondta, hogy több mint egy év kellett az akvizícióhoz,

ha nem lett volna Covid, akkor valószínűleg fél év alatt le lehetett volna zárni az üzletet.

A koronavírus kezelésére használt remdesivirrel kapcsolatban elmondta, hogy nem akarnak már foglalkozni vele, mert az államnak nincs igénye rá, május elején lejárt az engedélyük is. A projekt 1 milliárd forintba került a Richternek, amiből az ITM eddig 700 milliót állt, fel sem merült, hogy kereskedelmi forgalomba kerüljön a készítmény.

Több kutatás-fejlesztési projektben is benne van a Richter a koronavírusos betegek gyógyítására tagja például a japán favipiravir magyarországi fejlesztését célzó konzorciumnak. Emellett a bioszimiláris tocilizumab hatóanyagáról kiderült, hogy képes enyhíteni a citokinvihart, ezért elkezdték használni a Covid-betegek kezelésére. Gyárt egy ACE2 fúziós fehérjét is a Richter, amely képes lesz semlegesíteni a vírust úgy, hogy a vírus a gyógyszerfehérjére köt és nem az emberi sejtre; ez a fejlesztés jelenleg preklinikai fázisban van.

A Richter nem szeretne koronavírus ellen vakcinát fejleszteni, mert ehhez a teljes üzleti stratégiát át kellene gondolni, hogy a többi készítményt és a dolgozókat is megóvják a vírussoktól.

Az idei kilátásokkal kapcsolatban Orbán Gábor elmondta, hogy 5 százalék körüli árbevétel-növekedést terveznek, de az alapforgatókönyvben nem szerepel egy negyedik koronavírus-hullám, vagy hogy nagyon elszáll a forint, a rubel, a dollár árfolyama. Ha ezek bekövetkeznek, akkor nem biztos, hogy tartható a cél.

Idén két terméket tervez bevezetni a Richter, az egyiket az év közepén, a másikat az év végén, mind a kettő vezető termék lehet a Richter nőgyógyászati portfóliójában.

A szokottnál magasabb osztalékfizetési ráta annak köszönhető, hogy a legutóbbi akvizíció után maradt pénz a számlán és a következő akvizíció célpont még messze van. Erre most van lehetőség, de nem ígéri Orbán Gábor, hogy ez a jövőben is így marad. *(Portfolio)*



Az Európai Bizottság engedélyezte a Richter új fogamzásgátlójának forgalmazását. Az Európai Gyógyszerügynökség (EMA) emberi felhasználásra szánt gyógyszerkészítmények bizottsága 2021. március 26-án kiadott pozitív véleményét elfogadva hozta meg döntését az Európai Bizottság. Az engedély az Európai Unió valamennyi tagállamára érvényes. A terméket a Richter Európában DrovelisR márkanéven forgalmazza majd.

Bogsch Erik, a Richter Gedeon Nyrt. elnöke elmondta: elkötelezettek az olyan nőgyógyászati termékek fejlesztése iránt, amelyek a nők életminőségét valamennyi korosztályban javítják. *(MTI)*



A Sanofi és a GSK megkezdi a Covid-19-vakcinajelöltjük globális III. fázisú klinikai hatásossági vizsgálatát. A globális, randomizált, kettős vak, placebokontrollos III. fázisú vizsgálat több mint 35 000, legalább 18 éves önkéntes részvételével zajlik majd számos országban, köztük USA-beli, ázsiai, afrikai és latin-amerikai vizsgálohelyeken.



A vizsgálat elsődleges végpontja a tünetekkel járó Covid-19 megelőzése SARS-CoV-2-vel még nem fertőződött felnőtteknél, másodlagos végpontjai pedig a súlyos Covid-19, illetve a tünetmentes fertőzés megelőzése. A kétszakaszos elrendezés lényege, hogy a vizsgálatban eleinte az eredeti D.614 (vuhani) vírus elleni vakcinaváltozat hatásosságát, a második szakaszban pedig egy második, a B.1.351 (dél-afrikai) variáns elleni változat hatásosságát vizsgálják. Friss tudományos adatok szerint a B.1.351 variáns ellen létrejött antitestek széles körű keresztvédelemet nyújthatnak az egyéb, könnyebben terjedő variánsokkal szemben is. A III. fázisú vizsgálatra a legkülönbözőbb földrajzi régiókban kerül sor, így a vakcinajelölt többféle variánssal szembeni hatásosságát is értékelni tudják.

A közelmúltban végzett II. fázisú vizsgálat ígéretes köztes eredményeire alapozva a két vállalat klinikai vizsgálatokat indít a következő hetekben annak felmérésére is, hogy az adjuvánshoz kötött rekombináns fehérjét tartalmazó Covid-19-vakcinajelölt (hasonló az engedélyezés alatt álló Novavax vakcinajelölt is) képes-e erős emlékeztető választ kiváltani függetlenül attól, hogy eredetileg milyen vakcinával történt az oltás.

„Felemelő érzés látni azt, hogy végre megkezdődtek az oltások ebben a döntő jelentőségű III. fázisú vizsgálatban, ugyanis meggyőződésünk, hogy egyedülálló technológiai platformunknak köszönhetően egy klinikailag hatásos védőoltást tudunk adni a világnak – mondta Thomas Triomphe Executive Vice President, a Sanofi Pasteur globális vezetője. – Vakcinafejlesztési stratégiánkat jövőbe tekintő megfontolások alapján alakítottuk ki, hiszen a vírus evolúciója nem áll le, emellett már most azon gondolkodunk, mire lehet szükség majd a pandémia után. Ez a vizsgálat igazolja, hogy gyors és agilis módon igyekszünk segítséget nyújtani a jelenleg is dúló pandémia hatásainak leküzdésében.”

Roger Connor, a GSK vakcina üzletágának elnöke hozzátette: „Meggyőződésünk, hogy a Covid-19 elleni harcban nagy szükség van további megoldásokra, hogy ezek a világ minden részén eljussanak az emberekhez, különösen a pandémia változása és a variánsok folyamatos felbukkanása közepette. Technológiánkat és vizsgálati elrendezéseinket erre a szükségre alapozva módosítottuk, hogy még jobban kiaknázhassuk az adjuvánshoz kötött rekombináns fehérjét tartalmazó vakcinánkban rejlő lehetőségeket. Hálásak vagyunk az önkénteseknek, akik részt vesznek majd a vizsgálatban, és bízunk benne, hogy az eredmények a már ismert, kedvező adatokat támasztják alá és egészítik ki, és ezáltal a lehető leghamarabb elérhetővé tehetjük a védőoltást.”

A III. fázisú vizsgálat a II. fázisú vizsgálat köztes eredményeire épül, amelyek igazolták, hogy az adjuvánshoz kötött rekombináns fehérjét tartalmazó Covid-19-vakcinajelölt erős semlegesítő

tő ellenanyagválaszt váltott ki minden felnőtt korcsoportban, 95% és 100% közötti szerokonverziós aránnyal. A korábban igazoltan SARS-CoV-2 fertőzésen átesett résztvevőknél egyetlen adag beadása után is magas neutralizáló ellenanyagszintet mértek, ami arra enged következtetni, hogy nagy potenciál rejlik a készítmény emlékeztető oltásként történő fejlesztésében.

A III. fázisú vizsgálat kedvező eredményeitől és az engedélyező hatóságok értékelésétől függően a vakcina 2021 negyedik negyedévében kaphatja meg a forgalombahozatali engedélyt. A gyártás nyáron veszi kezdetét, hogy az engedély megadása esetén gyorsan hozzá lehessen jutni a vakcinához.

Ezt a munkát az Amerikai Egyesült Államok Egészségügyi és Szociális Minisztériuma alá tartozó, felkészültségért és válaszin- tézkedésekért felelős miniszterhelyettesi hivatal (Office of the Assistant Secretary for Preparedness and Response, ASPR) részé- ként működő Orvosbiológiai Fejlett Kutatási és Fejlesztési Ható- ság (Biomedical Advanced Research and Development Authority, BARDA) több szövetségi alapja támogatta, az Egyesült Államok közös vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris védelmi program- jának végrehajtó hivatalával (US Department of Defense Joint Program Executive Office for Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Defense) együttműködésben, a W15QKN16-9-1002 számú szerződés keretében.



Így lesz a melléktermékből többletnyereség a Kometánál.

Évi 15 ezer tonna hulladék feldolgozására alkalmas üzemet adott át a Kometa 99. Zrt., az 1,4 milliárd forintos beruházás a Gazdaságfejlesztési és Innovációs Operatív Programban valósult meg. A feldolgozott melléktermékek értékesítéséből 600–700 millió forint többletárbevételt vár a cég.

A Kometa 99 Zrt. vágóhidján jelenleg évente nyolcezer tonna feldolgozható vágóhídi melléktermék keletkezik, amelynek tárolása és elszállítása egyrészt terhelte a környezetet, másrészt magas költséggel járt a vállalat számára. Környezetvédelmi és költségmegtakarítási okokból a Kometa egy új melléktermék-feldolgozó üzem beruházását valósította meg a Gazdaságfejlesztési és Innovációs Operatív Program közreműködésével.

A teljes projekt összege 1,35 milliárd forint, ebből a támogatás 663 millió. „Nagy örömünkre szolgál, hogy egy olyan úttörő beruházást tudunk megvalósítani, amellyel nemcsak mint cég érhetünk el még jobb eredményeket, de még a környezeti terhelést is csökkenteni tudjuk” – mondta el Giacomo Pedranzini, a Kometa 99. Zrt. ügyvezető igazgatója az átadónapján.

Az eddig feldolgozásra alkalmatlan hulladékot mostanáig elszállították a telephelyről. A beruházással létrejött rendszer éves





szinten akár 15 ezer tonnányi hulladék telephelyen belül történő ártalmatlanítását és feldolgozását teszi lehetővé. A komplett melléktermék-üzem négy blokkot foglal magába: alapanyagellátási és -továbbítási rendszer, technológiai feldolgozó rendszer és a feldolgozás során keletkező szaghatást megsemmisítő rendszer.

A technológiai feldolgozó rendszer magas hőigényét egy hőelátó rendszer elégíti ki két kazánnal. A technológia telepítése egy fővállalkozóval (Secoser Kft.) és több alvállalkozóval (PCM Srl., Tecnoalimenta Sr., Airclean Srl. és Energo Prompt Kft.) valósult meg, így olasz és magyar berendezések együttes működése biztosítja az üzem folyamatos termelését.

A technológia lehetővé teszi a sertésfehérjelisztt és -takarmányzsír előállítását, így a fehérjelisztt az állati eledel (jelenleg hobbiallakatok takarmányozására) gyártásának alapanyagául szolgál, az ipari zsírokat és olajokat a vegyipar, gyógyszeripar használja fel, de többek között elektromos áramot termelő kogenerációs motorok üzemanyagaként vagy szintén állati takarmányozásra is jól alkalmazhatók. A komplett rendszer működése következtében jelenleg éves szinten 2300 tonna állati liszt és 1300 tonna állati zsiradék/olaj előállítását tervezi a Kometa. Ezt elérve 600–700 millió forint árbevétel- és 350–400 millió forint EBITDA-növekedéssel terveznek. (vg.hu)



Új megközelítéssel termelnek biohidrogént az SZBK kutatói. A karbonsemleges és körkörös gazdaságra való átállás az utóbbi években az európai gazdasági térség egyik fő stratégiai irányzatává vált. A nettó CO₂-kibocsátás nélküli gazdaság megvalósításának központi eleme a hidrogén energiaforrásként történő felhasználása. A hidrogén előállítása manapság jórészt földgázból történik, ami természetszerűleg óriási CO₂-szennyezéssel jár. A jövőben várhatóan a nap- és a szélenergiák által feleslegben megtermelt energia elektrolízissel történő vízbontással hidrogén formájában tárolhatóvá válik.

Hidrogéngáz azonban közvetlenül a napfény energiájának felhasználásával is előállítható. A zöldalgák a fotoszintézis melléktermékeként hidrogént képesek termelni, a kloroplasztiszban található hidrogenáz enzimeik segítségével. A zöldalgák hidrogenázai rendkívül hatékonyak, azonban a fotoszintézis során termelt oxigénre érzékenyek, ezért a természetben a hidrogéntermelés folyamata mindössze pár percig tart. E sajátosság igen nagy akadályt jelentett a biohidrogén-termelés gazdasági hasznosítását illetően. Az elmúlt körülbelül 30 évben számos módszerrel igyekeztek a kutatók a hidrogéntermelés folyamatát meghosszabbítani, azonban ez csak jelentős sejtkárosodás mellett volt megoldható.

A zöldalgák hidrogéntermelésének hatékonyságát és fenntarthatóságát érintő kutatások terén jelentős előrelépések történtek az elmúlt időszakban. Az SZBK Lendület Molekuláris Fotobiogermetikai Csoportja egy, a korábbi módszereknél jóval hatékonyabb és fenntarthatóbb új, trendváltó eljárást dolgozott ki, amely a rendkívül egyszerűsége miatt az ipari méretekben történő hasznosítás szempontjából is igen ígéretes.

A legújabb fejlesztések lényege, hogy vékony rétegű, de igen nagy töménységű algakultúrát helyeznek el egy erre alkalmas fotobioreaktorban. A kultúrát néhány óráig sötétben tartják, hogy hidrogéntermelést végző enzimek képződjenek, majd fénynek teszik ki. Ezt követően az algák vízből hidrogéngázt állítanak elő, több napon keresztül.

Bioipari szempontból fontos kiemelni, hogy a hidrogéntermelés a napfény intenzitásán is fenntartható anélkül, hogy az alga-



kultúrák jelentős károsodást szenvednének. Az új eljárással a hozamot az eddigi módszerekhez képest körülbelül a tízszeresére sikerült emelni. Bizonyos fotoszintetikus mutánsok esetében a hidrogéntermelés folyamata még stabilabb, a hozam pedig jelentősen magasabb. Melléktermékként jól hasznosítható biomassza képződik, és az algák a növekedési fázisukban szén-dioxidot hasznosítanak.

A kutatók célja a hozam további fokozása, valamint egy szabadföldi H₂-termelésre alkalmas fotobioreaktor tervezése, és a prototípus megépítése. A korábbi kutatási eredményeket európai szabadalom védi.



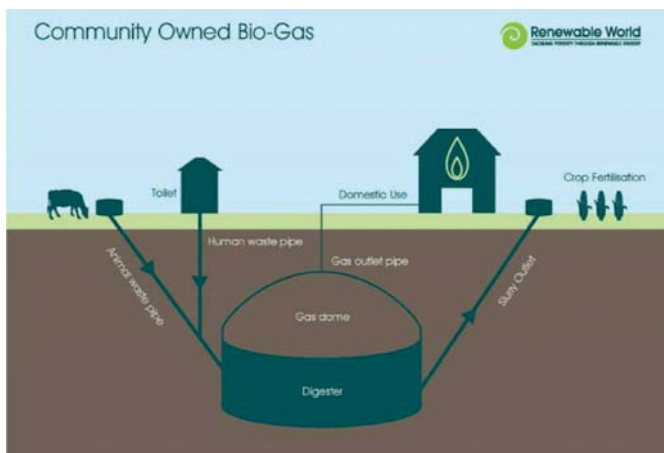
Biogáz előállítására dolgoztak ki új módszert magyar kutatók. A fűzfa biomasszájának energetikai hasznosítására, biogáz előállítására dolgoztak ki új módszert a Szegei Tudományegyetem (SZTE) munkatársai, a Szegei Biológiai Kutatóközponttal (SZBK), az Agrár-Béta Mezőgazdasági Kft.-vel és a Kaposzekcsői Agrár-Biogáz Kft.-vel együttműködve. A biogáz előállítására a fermentáló tankokban szinte valamennyi szerves anyag alkalmas, így az állati eredetű trágya, az élelmiszeripari melléktermékek és hulladékok, az elpusztult állatok tetemei és a növények egyes részei, de felhasználható a háztartási szerves hulladék és a szennyvíziszap is.



A biogáz szerves anyagok mikrobák által anaerob körülmények között történő lebontása során képződő gázelegy

A közlemény szerint az egyetemen és az SZBK-ban Dudits Dénes akadémikus vezetésével zajló közös kutatásnak köszönhetően kiderült, hogy a biogázreaktorokba helyezve, a hagyományos szerves hulladékok mellett, a fűz biomasszája az egyik legalkalmasabb alapanyag a biogáz előállítására.

A kutatás célja a növekvő energiaigény miatt egyre fontosabbá váló zöld energiatermelés környezetbarát módon történő növelése és megfelelő alkalmazása – közölte Bagi Zoltán, a kutatás szakmai vezetője. – A biogáz előállítására a fermentáló tankokban szinte valamennyi szerves anyag alkalmas, így az állati eredetű trágya, az élelmiszeripari melléktermékek és hulladékok, az elpusztult állatok tetemei és a növények egyes részei, de felhasználható a háztartási szerves hulladék és a szennyvíziszap is.



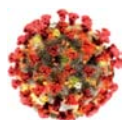
A biogázképződés folyamata

Ezekből megújuló energiahordozó, biogáz termelhető mikroorganizmusok segítségével, biotechnológiai módszerekkel. A szerves anyagok energiatermelés céljára más eljárásokkal nem hasznosíthatók, és a környezetünkbe elhelyezve számos környezetvédelmi és egészségügyi problémát okozhatnak.

A kiindulási anyagok biológiai úton történő fermentációjával az energiatermelés mellett ártalmatlanításukra is sor kerül, még hozzá úgy, hogy a lebontás után visszamaradó anyag biotrágyaként tápanyag-visszapótlásra jól felhasználható a mezőgazdaságban. Ezzel kiváltható a környezetterhelést jelentő műtrágya.

A felhasználható alapanyagok többsége veszélyes hulladéknak számít, ezekből is hasznos termék – biogáz vagy biotrágya – állítható elő, amelyek egyébként nagyon magas költséggel lennének csak kezelhetők, illetve megsemmisíthetők – fejtette ki Kovács Kornél, az SZTE emeritus professzora.

A kutatás során a fűz biomasszáját hasznosító erjesztési technológiák kidolgozásával sikerült megnövelni a biogáz üzemek gazdaságosságát. A szakemberek az energiafűz-ültetvények biomasszahozamának, sótűrési, környezet tisztító képességének javítását vizsgálták, és kidolgoztak innovatív természettechnológiai megoldásokat is. A módszer hatékonyságát üzemi kísérlet során a kaposszekcsői, ipari léptékű biogáz-üzemben ellenőrizték. (MTI)

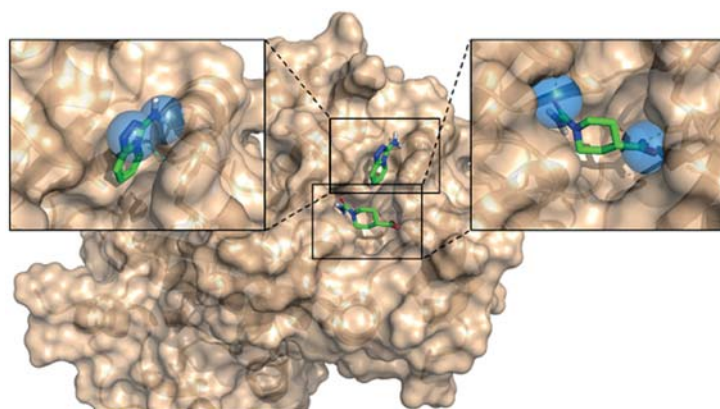


Magyar technológia segíti az új koronavírus-gyógyszerek fejlesztését. A koronavírus és egyéb, új fertőző betegség leküzdésében is segíthet a magyar kutatók vezetésével kifejlesztett új SpotXplorer technológia, amely a betegséget okozó fehérjék Achilles-sarkát, a legfontosabb támadási célterületet képes azonosítani. A technológia új távlatokat nyithat az igazán hatékony gyógyszerek kifejlesztésében – írta Jakab Ferenc virológusprofesszor a Virologia Pécs Facebook-oldalon.

A Természettudományi Kutatóközpont Gyógyszerkémiai kutatócsoportjának vezetésével, valamint a Pécsi Tudományegyetem Szentágothai János Kutatóközpont Virologiai Nemzeti Laboratórium munkatársainak részvételével



JAKAB FERENC



SpotXplorer-molekulák kötődnek a COVID-19 fertőzést okozó SARS-CoV-2 vírus NSP3 makrodomén fehérje hotspotjain. A szerkezet a Diamond Light Source szinkrotronban készült az Egyesült Királyságban (elkh.org)

Segítségével a leukémia új gyógyszeres kezelését ígérő SETD2 és a koronavírus-fertőzésben szerepet játszó 3CLpro és NSP3 fehérjék támadási célterületeihez is jól kötődő molekulákat azonosítottak. A sikerek alapján az innovatív SpotXplorer technológia piacra vitelében az amerikai–magyar BioBlocks cég is lehetőséget lát.

Az innovatív SpotXplorer technológia kifejlesztéséről és felhasználásáról szóló tanulmány 2021. május végén jelent meg a világ egyik legrangosabb tudományos szaklapjában, a Nature Communicationsben. (infostart.hu)

új technológiát fejlesztettek ki magyar kutatók, amely lehetővé teszi az legfontosabb célterületek (úgynevezett „hotspotok”) beazonosítását a különböző fehérjéken – olvasható a Koronavírus-kutatói Akciócsoport vezetőjének bejegyzésében. Akár az emberi szervezetben, akár egy kórokozó felszínén található fehérjéken is vannak olyan területek, amelyek a hozzájuk kapcsolódó molekulák számára szolgálnak fontos hozzáférési pontként. A fehérjék ezen célterületeinek pontos ismerete igen fontos lehet a betegségek elleni hatékony gyógyszerek tervezésében, kifejlesztésében a jövőben.

Ugyanis az eddig ismert támadáspontok tulajdonságainak elemzésével azonosíthatók azok a kapcsolódási mintázatok, amelyek segítik a jövő gyógyszereit abban, hogy a betegséget okozó fehérjékhez hatékonyan kapcsolódva megváltoztassák azok hibás működését. Vagy éppen ellenkezőleg, blokkolják egy-egy fehérje aktivitását, ezzel megakadályozva annak normális működését. Ez igen fontos lépés lehet például a fertőző betegségekkel vívott harcban az orvostudomány számára.

A virológusprofesszor magyarázata szerint a fehérjék támadási célterületeihez elvileg sokféle molekula kapcsolódhat, azonban csak kevés molekula képes igazán hatékonyan kötődni. A SpotXplorer technológia a kódolt kötődési mintázatoknak köszönhetően képes ilyen molekulákat találni, ráadásul úgy, hogy ehhez kevesebb mint 100 molekulát kell csak megvizsgálni. Összehasonlításképpen: a gyógyszerkutatásban gyakran több tízezer–százezer molekulát is megvizsgálunk egy-egy további fejlesztésre alkalmas hatékony vegyület felfedezéséhez.

A magyar kutatók az együttműködő amerikai, angol, lengyel, osztrák és szlovén csoportokkal közösen bizonyították, hogy a SpotXplorer technológia nemcsak a már ismert gyógyszerek által célzott fehérjéken működik, de *sikeresen alkalmazható új, betegséget okozó fehérjéken is.*



„Bolyaisok.” Az MTA Bolyai-ösztöndíjasokat bemutató sorozata nemrég az MKL olvasói előtt is ismert Csupor Dezsőről készített összeállítást, aki bioaktív növényi anyagok kémiai vizsgálatával foglalkozik a Szegei Tudományegyetem Farmakognóziai

CSUPOR DEZSŐ



Intézetében. A növényi vegyületek kinyerése, tisztítása és szerkezetük meghatározása terén nemzetközileg is elismert műhely működik Hohmann Judit akadémikus irányításával. Az ilyen típusú kutatásoknak azért van nagy jelentősége, mert az újonnan felfedezett természetes eredetű

molekulák új gyógyszerek kifejlesztésének alapjául szolgálhatnak. Erre jó példa az ingenol-mebutát, amelyet Szegeden nyertek ki a vézna kutyatejből, s amely egy ausztrál gyógyszergyár terméként daganatot megelőző bőrelváltozások gyógyszereként van forgalomban.

A legalaposabban feltárt edényes növények mellett egyre nagyobb figyelem irányul a tengeri növényekre (és egyéb élőlényekre), valamint a hazánkban is megtalálható mohákra. Mivel a mohák annak ellenére is viszonylag jól ellenállnak a kár- és kórokozók behatásainak, hogy nem rendelkeznek jelentős mechanikai védelemmel, feltételezhető, hogy anyagcseretermékeik jelentős hatást fejtenek ki környezetükre, így farmakológiai szempontból is ígéretesek lehetnek. A hazánkban honos több mint 600 mohafaj zöméről szinte egyáltalán nem rendelkezünk kémiai vagy a hatásaikat jellemző kísérleti eredményekkel, így a kutatás új hatóanyagok azonosítását hordozta.

A munka első lépéseként a kutatók több tucat hazai mohafajt gyűjtöttek be, majd ezek kivonatait daganatellenes és antimikrobás hatásra irányuló szűrővizsgálatnak vetették alá. Ennek eredményeként több olyan fajt találtak, amelyeket biológiai hatásaik alapján érdemesnek tartottak arra, hogy megkíséreljék hatóanyagaik kinyerését és azonosítását. (mta.hu)



Négy pályamunka nyerte el idén a Környezetvédelmi Tudományos Ifjúsági Pályadíjat. Hogyan lehet a hulladékból energia? Miként állíthatók helyre az urbanizáció által érintett élőhelyek? Hogyan lehet korán felismerni a lisztharmatfertőzést? Mít árul el a méz a környezet állapotáról? Ezekre a kérdésekre válaszolnak pályamunkájukban azok a fiatal kutatók, akiknek a munkáját Környezetvédelmi Tudományos Ifjúsági Pályadíjjal ismerte el a Magyar Tudományos Akadémia.

A négy díjazott között kettő a kémia területéről került ki. *Rózsenszki Tamás* (Pannon Egyetem) rávilágított, hogy a települési szilárd hulladék szerves frakciója több figyelmet érdemelne a benne rejlő kötött energia kinyerésének tekintetében – a megújuló és környezetbarát trendek erősítése miatt is. A „hulladékból energia” elvét követve többféle biológiai lebontási folyamatot is elemez a településekről begyűjtött hulladék jelentős mennyiségű, biológiai úton bontható frakciójának kezelhetőségére.

Baranyai Edina (Debreceni Egyetem) pályamunkájából kiderül, hogy a gyűjtőknél és a mézmúzeumokban fellelhető méhészeti termékek modern analitikai módszerekkel vizsgálva kiemelt szerepet játszhatnak a környezet rekonstrukciójára irányuló kutatásokban. (mta.hu)

Nettó exportőrök leszünk. Lovász László Abel-díjas matematikust, az MTA korábbi elnökével nemrégiben készült interjú, amelyben, többek között, a Fudan Egyetemről is kérdezték: Nem ismerjük a részleteket, pedig minden ezen múlik – mondta. – Ki fog ott tanulni, tanítani, a beruházás hogyan térül meg Magyarországnak? Magyar diákoknak biztosítanak-e helyeket, lesznek-e ösztöndíjak, amelyekkel a tehetséges, de kevésbé tehető fiatalok is bekerülhetnek? Az biztos, hogy Kína hatalmas lépéseket tett előre a tudomány területén. A kínai egyetemek, mint a sanghaji Fudan vagy a pekingi Tsinghua Egyetem, több nemzetközi rangsorban előkelő helyen szerepelnek. Azt is érdemes hozzátenni, például a természettudományok terén nem érdekes, hogy az egyetem alapszabályában mennyire jelenik meg a Kínai Kommunista Párt iránti elköteleződés. Összességében viszont úgy gondolom, jobb lett volna, ha a már meglévő magyar egyetemek fejlesztésére fordítják a Fudanra szánt pénzt és energiát. Nagyon aggaszt, hogy Magyarországról már az érettségi után egyre több fiatal elmegy külföldre továbbtanulni, sokan nem is találkoznak a magyar tudománnyal, a magyar professzorokkal. Persze a tudomány nemzetközi dolog, a kutatók sokat költöznek kutatási feladataik miatt, csak az a baj, hogy Magyarország ennek a folyamatnak általában a vesztes felén van.

LOVÁSZ LÁSZLÓ (FOTÓ: MTA-HU)



Mi lesz a vége ennek a folyamatnak? Elfogy a hazai szürkeállomány?

Azt hiszem, van esélyünk arra, hogy kiváló tudósokat, kutatókat tartunk meg vagy csábítsunk vissza, de valószínűleg még hosszú ideig több szürkeállományt fogunk termelni, mint amennyi végül

itt marad. Nettó exportőrök leszünk. De ha van itt egy szellemi vonzás, egy olyan közösség, amiről úgy érzik, nem elszigetelt, hanem világélvonalbeli kutatásokra van lehetőség, akkor még a viszonylag előnytelenebb anyagiakat is felvállalják.

Az akadémiai kutatóhálózat kiszervezése mellett egy kormányzati érv épp az volt, hogy elismertebb tegyék a magyar kutatókat, világszínvonalúvá a magyar kutatásokat. Ebbe az irányba haladunk?

Biztos vagyok benne, hogy minden magyar kormánynak, politikai állástól függetlenül fontos célja, hogy az ország tudományos életét fejlessze. A közelmúltban volt egy összeütközés az alapkutatások szerepéről, voltak komoly szakértők, akik azt mondták, hogy egy ilyen kis országban nem érdemes alapkutatásokra költeni, költsük inkább a pénzt arra, ami gyakorlati hasznot hoz. Ez ellen erősen érveltem, mert szerintem éppen az alapkutatásokon keresztül tudunk bekapcsolódni a nemzetközi tudományos életbe. Ezen a területen kevesebb az egymásnak ellentmondó érdek. Ahol gyakorlati fejlesztés történik, ott más országoknak, multiknak az érdekei egymásnak ellentmondhatnak. (nepszava.hu)



MAVESZ vegyipari logisztikai webinar. A veszélyes áru szállításának aktualitásairól, Covid-19-vonatkozásokról, valamint a MOL Poliol Projekt keretében az EO és PO biztonságos szállítására és kezelésére, az esetleges vészhelyzeti beavatkozásra való felkészülésről, továbbá a Fényeslitkén megvalósuló intermodális



terminál projektjéről és a vállalati veszélyesáru-logisztikai gyakorlatról hallgatható meg előadásokat a MAVESZ március 31-i vegyianyag-logisztikai webinarján a több mint 50 résztvevő. Az előadások diái letölthetők: <https://mavesz.hu/mavesz-vegyianyag-logisztikai-webinar-2021-03-31/>



Kvótákkal vadászná le az EU a legdurvább szennyezőket.

A klímakatasztrófa egyre aggasztóbb jelei, az erdőtüzek, a szárazságok, hóhullámok és viharok hatására az EU polgárai – különösen a nyugati tagállamokban – egyértelművé tették, hogy határozottabb klímapolitikai fellépést várnak a vezetőiktől. Ez pedig kikényszerítette, hogy az EU a korábnál ambiciózusabb klímavédelmi célokat fogalmazzon meg. Először 2019 decemberében az EU elhatározta, hogy 2050-re elérni a nulla üvegházgáz-kibocsátást, 2020 decemberében pedig arról is döntés született, hogy a 2030-as 40%-os kibocsátáscsökkentési célt 55%-ra emelik (az 1990-es szinthez mérve).



Ennek eléréséhez az uniós klímapolitika átfogó reformjára van szükség, és jelentős beruházási és támogatási forrásokat is biztosítani kell a karbonsemleges gazdaságba való átmenethez. Az uniós finanszírozás körvonalai már nagyjából láthatóak, úgy a hétéves költségvetés, mint a Helyreállítási Alap (RRF) jelentős összegeket biztosít ehhez. A szakpolitikai szabályozási kérdésekben azonban még csak most következik a részletek kidolgozása. Az Európai Bizottság még 2019 decemberében mutatta be az Európai Zöld Megállapodásra (European Green Deal) vonatkozó elképzeléseit, amelyekből a legfontosabbak: a kibocsátáskereskedelmi rendszer (EU ETS) reformja, ahol a fő feladat az, hogy az 55%-ra való fellépés miatt csökkenteni kell a 2030-ig kiosztható kvóták számát; az EU ETS alá nem eső ágazatok (közlekedés, háztartások, mezőgazdaság, erdészet stb.) esetében meghatározott tagállami célértékek szigorítása az ún. Effort Sharing Regulation (ESR) keretében; az EU határain érvényesítendő karbonvámok rendszere, az ún. Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) lehetséges bevezetése; az energiaadózásról szóló uniós szabályozás reformja; a gépjárművek fajlagos kibocsátási követelményeinek reformja; az energiahatékonysági és a megújuló energia szabályozásának reformja.

A bemutatott tervezet megkapta a zöld lámpát a tagállamoktól a Tanácsban, a Bizottság pedig feladatul kapta, hogy kidolgozza a szabályozási részleteket. A dolgok mostani állása szerint a Bizottság részletes tervezeteit összefoglaló ún. „Fit for 55”, azaz az 55 százalékos cél eléréséhez szükséges programcsomag 2021 júliusában jelenik meg, és akkor elindulhat az egyes tagállamok és az Európai Parlament közötti birkózás a csomag elfogadásáról, illetve módosításáról.

A három legfontosabb ezek közül a karbonvámok (CBAM) bevezetése, a kvótakereskedelem (ETS) reformja, és az iparon kívü-

li szektorokra (közlekedés, mezőgazdaság, lakosság stb.) vonatkozó szabályozás, az ún. Effort Sharing Regulation (ESR) reformja. ([masfelfok.hu](https://www.masfelfok.hu))

Ritz Ferenc összeállítása

Az MKE rendezvénynaptára – 2021

	Küldöttközgyűlés	Budapest
aug. 9–13.	Varázslatos kémia nyári tábor	Eger
augusztus	Kémiantanárak Nyári Továbbképzése	
	MKE Vegyészkonferencia, 2021	
szeptember 2.	17. Magyar Magnézium Szimpózium	Debrecen
október	Őszi Radiokémiai Napok	Balatonszárszó
október 14.	37. Borsodi Vegyipari Nap	Miskolc

HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL

LXXVI. No. 7–8. July–August

CONTENTS

<i>Can we teach experimental design skills at school?</i>	198
MIKLÓS RIEDEL, ISTVÁN FÜZESI, MÁRTA RÓZSAHEGYI, and JUDIT WAJAND	
<i>Whom was it named after?</i>	
<i>Gibbs, Duhem, Lippmann, and Helmholtz – equations and functions</i>	206
GYÖRGY INZELT	
<i>Cloud poking</i>	
<i>Titanium dioxide on blacklist</i>	213
DEZSŐ CSUPOR	
<i>Humour in science</i>	214
MIHÁLY BECK	
<i>Molecular metabolism of carnivorous plants. Food made for survival</i>	219
TIBOR BRAUN	
<i>Book review</i>	
<i>Molecules of love by Tibor Braun</i>	221
GYÖRGY KEGLEVICH	
<i>Traditional and alternative purification of monoclonal antibodies</i>	222
DOROTTYA VASKÓ, EDIT HIRSCH, and CSABA FEHÉR	
<i>Celebrating the 75th volume of the Journal</i>	
<i>An original article by Árpád Kucsman and a comment by</i>	
ELEMÉR FOGASSY	225
<i>An original article by Imre Dékány and a comment by</i>	
IMRE DÉKÁNY and KRISZTINA LÁSZLÓ	230
<i>Chembits</i>	238
GÁBOR LENTE	
<i>Obituary</i>	
<i>Sándor Gál (1933–2021)</i>	240
GYÖRGY POKOL	
<i>News of the Month</i>	242

Kutatásalapú kémiatanítás

12. FELADATLAP: A TEJ, MINT TELJES ÉRTÉKŰ ÉLELMISZER



18. FELADATLAP: A JANUS-ARCÚ HIDROGÉN-PEROXID

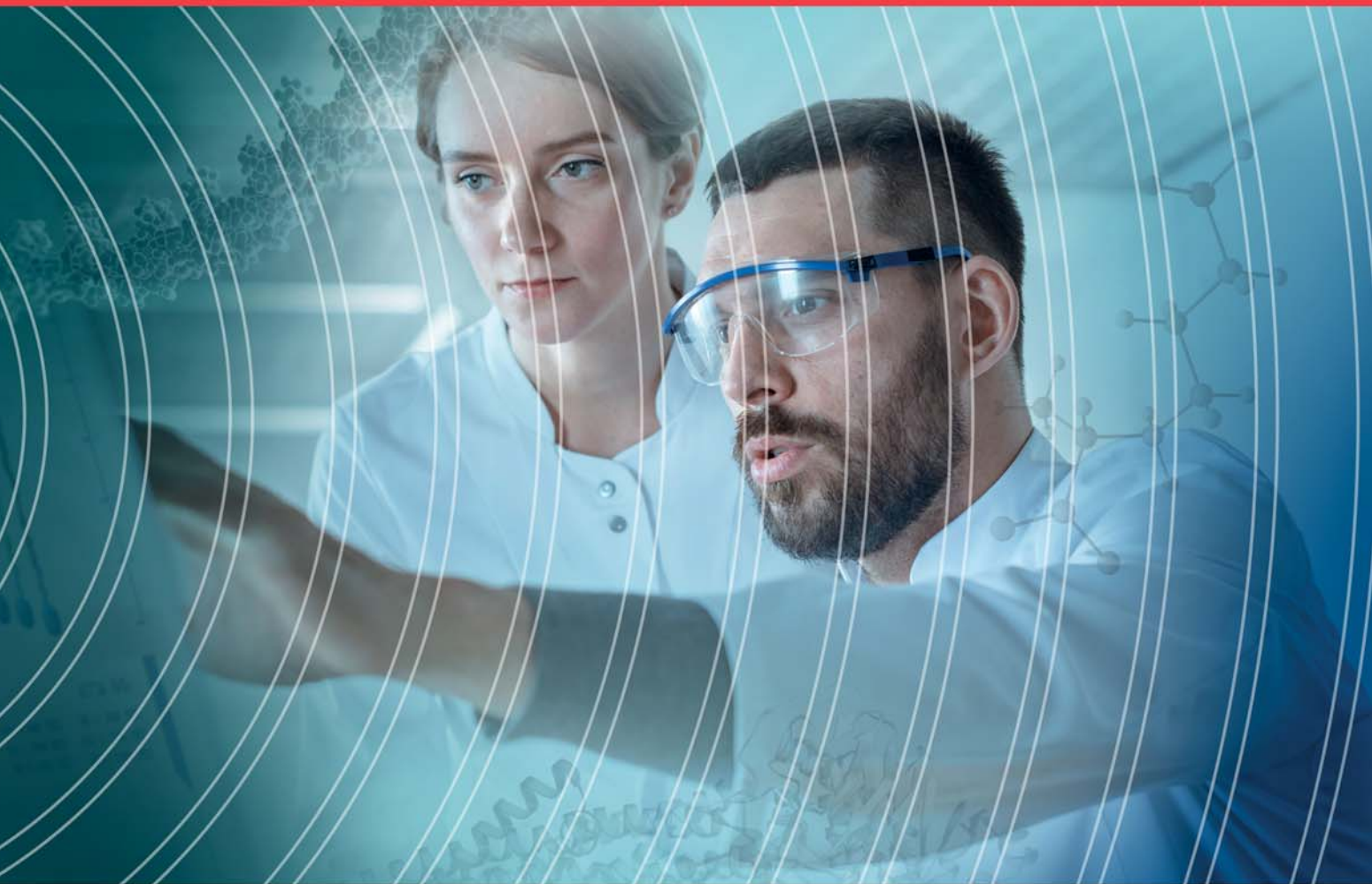
7. FELADATLAP: JAMIE OLIVER TÖKÉLETES SALÁTOÑTETE

23. FELADATLAP: MENNYI A C-VITAMIN A NARANCSLÉBEN?

12. FELADATLAP: A TEJ, MINT TELJES ÉRTÉKŰ ÉLELMISZER

1. FELADATLAP: A MI VILÁGUNK – A RÉSZÉCSKÉK VILÁGA

A „Megvalósítható kutatásalapú kémiatanulás” című pályázat elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgypedagógiai Kutatási Programja támogatta.



Lépje át a határokat

eddig elérhetetlen LC/MS teljesítménnyel

Teljesen új lehetőségek nyíltak meg a komplex analitikai kihívások megoldásában, a kis- és nagymolekulák világában egyaránt. A Thermo Scientific™ Orbitrap™ Tribrid™ nagyfelbontású, nagy tömegpontosságú tömegspektrométerek ötvözik a kiemelkedő szelektivitást, érzékenységet, sebességet és kombinálhatóságot, ezzel lehetővé téve a kimutatási határok, a mennyiségi meghatározás és az ismeretlen komponensek azonosításában eddig ismert korlátok jelentős túllépését. A Tribrid™ tömegspektrométerek három analizátor típus, a kvadrupol, a lineáris ioncsapda és az Orbitrap™ előnyeit kombinálva teljesen egyedül mérési üzemmódok alkalmazását teszik lehetővé.



Thermo Scientific™ Orbitrap
Eclipse™ Tribrid™ MS



Thermo Scientific™ Orbitrap
Fusion™ Lumos™ Tribrid™ MS



Thermo Scientific™ Orbitrap
ID-X™ Tribrid™ MS

További információk: [thermofisher.com/tribrid](https://www.thermofisher.com/tribrid)

Kizárólagos képviselő:

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

UNICAM