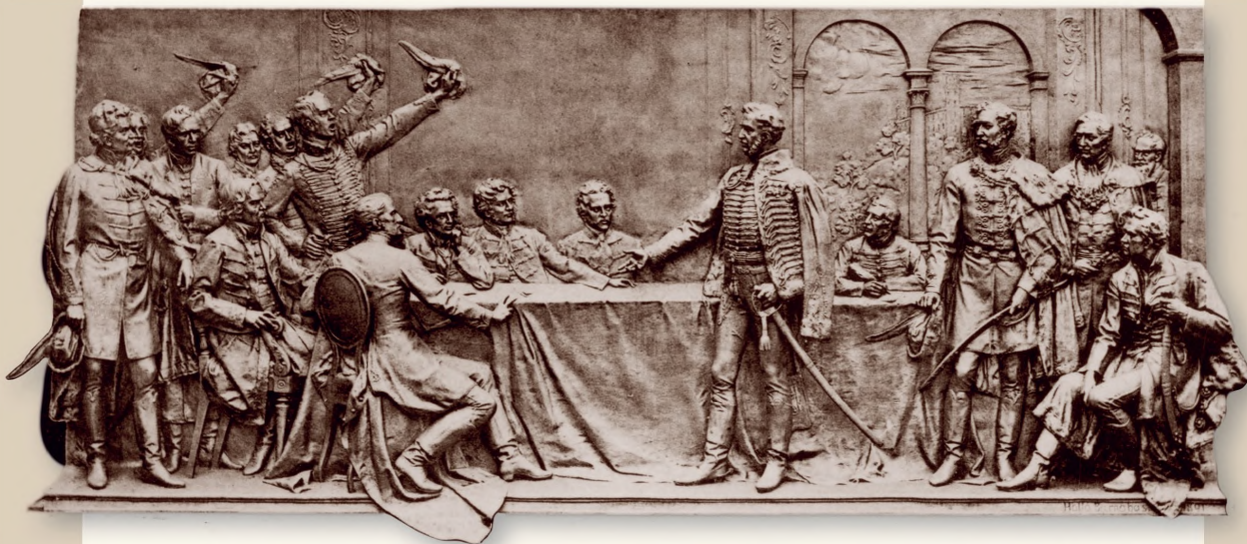


MAGYAR TUDOMÁNY

Kollár László és munkatársai
A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÉMIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
ÜNNEPI ÖSSZEÁLLÍTÁSA

Golden Dániel és munkatársai
A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA
FILOZÓFIAI KIHÍVÁSAI



MAGYAR TUDOMÁNY

A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata

Főszerkesztő

BOLLOBÁS ENIKŐ

Szerkesztőbizottság

BAZSA GYÖRGY – BORHY LÁSZLÓ – BOZÓ LÁSZLÓ – CSABA LÁSZLÓ

HAMZA GÁBOR – KECSKEMÉTI GÁBOR – KENESEI ISTVÁN

MOLNÁR ANTAL – PÉCELI GÁBOR – PLÉH CSABA – RÓNYAI LAJOS

SARKADI BALÁZS – SIMON FERENC – SOLTI LÁSZLÓ – SPÄT ANDRÁS

Vezető szerkesztő

GEIGER ILDIKÓ

Felelős szerkesztő

SZABÓ ÉVA ESZTER

Szaklektorok

HEGYI PÁL – SZABADOS LÁSZLÓ – TERNÁK GÁBOR

Szerkesztő, rovatvezető (Könyvszemle)

SÜTŐ CSABA ANDRÁS

Olvasószerkesztő

MAJOROS KLÁRA



MTA 200 ÉVES
A MAGYAR
TUDOMÁNYOS
AKADÉMIA

Megjelenik
a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával

HU ISSN 0025 0325

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó Zrt. igazgatója

Felelős szerkesztő: Kovács Natália

Olvasószerkesztő: Pócsi-Fodor Petronella

Korrektúra: Török Tünde

Termékmenedzser: Egri Róbert

Fedélterv: Petrányi Réka

Tipográfia, tördelés: Berkes Tamás



Készült a Gyomai Kner Nyomda Zrt.-ben 2025-ben.

Felelős vezető: Balla László vezérigazgató

www.gyomaikner.hu

Megjelent 17,16 (A/5) ív terjedelemben

TARTALOM

BICENTENÁRIUMI ÖSSZEÁLLÍTÁS

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÉMIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK ÜNNEPI ÖSSZEÁLLÍTÁSA

Vendégszerkesztő: Kollár László

Kollár László

Quo vadis, Chaemia?

Bevezető gondolatok 1471

Greiner István – Kotschy András – Volk Balázs – Keserű György Miklós

A magyar gyógyszerkutatás és -fejlesztés a 21. században 1475

Hancsók Jenő – Baladincz Jenő – Börzsönyi Sándor – Geiger András – Kristóf Tamás – Nagy Gábor

A magyar kőolaj-feldolgozó ipari kutatás és fejlesztés 1960 után 1489

Soósné Balczár Ida – Kristófné Makó Éva – Eniszné Bódogh Margit – Korim Tamás –

Fitosné Boros Adrienn – Jakab Miklós – Szabó Roland

Barangolás a magyar szilikátkémiai kutatás fejlődésében: múlt, jelen, jövő 1513

Lente Gábor

Megfogyva és lassan meg is törve: magyar kémiaoktatás a 21. században 1529

KÜLHONI BIZOTTSÁGOK

Mészáros András

A Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács 1547

TEMATIKUS ÖSSZEÁLLÍTÁS

A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA FILOZÓFIAI KIHÍVÁSAI

Golden Dániel

Bevezető 1557

Hévizi Ottó

Penrose teorémája az ítéletformálásról 1559

Kondor Zsuzsanna

A mesterséges intelligencia és a tudat 1567

Bernáth László

Miért nem rendelkezik felelősséggel a mesterséges intelligencia? 1574

Danka István

Tíz érv az ellen, hogy morális közösséget vállaljunk a mesterséges intelligenciával 1582

Hajfmann Miklós

Mesterségesintelligencia-alapú tudományos felfedezések – kreativitás, szelekció és heurisztika 1589

Golden Dániel

Mesterséges intelligencia és társas tudás 1596

TANULMÁNYOK

Fertő Imre

A humán kutatás társadalmi hatásairól 1605

Biró Nikolett – Kobán Gergely

A mesterséges intelligencia alkalmazásai az úridőjárás vizsgálatában 1613

Nagy Gábor – Szentesi Szabolcs

A termelési logisztika változásai – az Ipar 5.0 új korszaka 1619

Péter Ferenc

Időtálló felismerésekről a Debreceni Gyermekklinika százéves jubileuma alkalmából 1630

MEGEMLÉKEZÉS

Hargittai István

Richard L. Garwin (1928–2025) és Lax Péter (1926–2025). Két nagy tudós magyar vonatkozásokkal 1636

TUDÓSPORTRÉ

Varga János

Hutýra Ferenc, a magyar állatorvos-tudomány kimagasló jelentőségű, világszerte ismert alakja 1644

KÖNYVSZEMLE

Tombácz Etelka

Berta Renáta és munkatársai
Mit is iszunk? Mikroműanyag-problémák, jelenlegi helyzet 1649

Gubicza László

Bélaifiné Bakó Katalin – Székely Katalin szerkesztők
Gázelegyek membrános elválasztása 1652

Sipiczki Mátyás

Peter Polčič és munkatársai
Klasické experimenty v biochémií (Klasszikus kísérletek a biokémiában) 1655

BICENTENÁRIUMI ÖSSZEÁLLÍTÁS

A Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Tudományok Osztályának ünnepi összeállítása Bicentennial Collection of the Chemical Sciences Section of the Hungarian Academy of Sciences

Vendégszerkesztő: Kollár László

Quo vadis, Chaemia?
Bevezető gondolatok

Quo vadis, Chaemia?
Introductory Thoughts

Kollár László

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár, Pécsi Tudományegyetem Kémiai Intézet
HUN-REN-PTE Szelektív Kémiai Szintézisek Kutatócsoport, Pécs
kollar@gamma.ttk.pte.hu

Összefoglalás

A Magyar Tudományos Akadémia alapításának 200. évfordulóján megjelenő összeállítás köszöntőjében a Kémiai Tudományok Osztályának vendégszerkesztője röviden bemutatja a kémiai tudományok területén működő úttörő kutatókat. Bemutatja az itt megjelenő négy közleményt, amelyek a gyógyszerkutatás, a kőolaj-feldolgozás, a szilikátkémia és a kémia oktatása területéről szólnak.

Abstract

To mark the bicentenary of the foundation of the Hungarian Academy of Sciences, the guest editor of this article collection, which is dedicated to the Section of Chemical Sciences, introduces pioneering researchers in Hungarian chemical sciences. The four papers provide an overview of the history and recent innovations in pharmaceutical research, petroleum refining, silicate technology, and chemistry education.

Kulcsszavak: gyógyszerkutatás, kőolaj-feldolgozás, szilikátkémia, kémiaoktatás

Keywords: pharmaceutical research, petroleum refining, silicate technology, chemistry education

A Magyar Tudományos Akadémia (Magyar Tudós Társaság) megalapításának 200 éves évfordulóját ünnepelve valószínűleg minden tudományterület művelői elgondolkodnak azon, hogy az elmúlt két évszázadban milyen felfedezések, események köthetők szeretett tudományukhoz. A Kémiai Tudományok Osztálya – több más bicentenáriumi anyag összeállítása mellett – ennek szellemében döntött egy kutatási, oktatási és szervezeti részleteket kronologikus sorrendben tartalmazó, nagy ívű munka elkészítéséről (Bazsa 2025; „A Kémiai Tudományok Osztálya kezdeményezése...” 2025). Az ezt megelőzően megjelent, a hazai kémiai kutatások szakmai műhelyeit, képviselőit és a kémikusok különböző szervezeteit összefoglaló munkák közül a Magyar Kémikusok Egyesülete alapításának centenáriumára összeállított emlékkönyvet bátran ajánlom az olvasók figyelmébe (Tömpe 2007).

Jelen bevezető célja természetesen nem lehet a fenti közlemények akár csak kivonatos ismertetése sem, de a kezdeteket illetően néhány tény feltétlenül említést érdemel. A magyar kémia első eredményeit illetően valószínűleg minden összeállítás – akár tudománytörténeti munka – más-más eredményeket emel ki. Már csak azért is, mert felfedezőit nemcsak a kémia, hanem más területek is büszkeségeik között említik. A tellúr felfedezőit, Kitaibel Pált és Müller Ferencet a botanika és az ásványtan is jeles képviselői között tartja számon.

Ha a nemzetközi tudományos közlés eredményeit tekintjük, a foszforos gyufa feltalálójának, Irinyi Jánosnak 1838-ban Berlinben megjelent könyve, a *Theorie der Chemie* kívánczik az élre. Még kémikus körökben sem közismert azonban, hogy az egyik első, tekintélyes nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemény az 1848–1849-es szabadságharc tábornokának, Görgey Artúrnak a nevéhez fűződik, aki 1848-ban az *Annalen der Chemie und Pharmacie* folyóiratban számolt be a prágai Károly Egyetemen végzett kutatásairól, a kókuszolajban található zsírsavak analizálásáról.

A kémia korszerű oktatásának és kutatásának megalapozása Than Károly (Pesti Királyi Magyar Tudományegyetem) érdeme, akinek az 1860-as évek elejétől publikált vízanalitikai és spektroszkópai munkái nemzetközi szinten is komoly elismerést vívtak ki maguknak. Kevésbé ismert, hogy egy olyan új vegyület, a karbonil-szulfid felfedezése is az ő nevéhez kötődik, amely napjaink kémiai kutatásának is az egyik legizgalmasabb, sok kihívást jelentő egy szénatomos kismolekulája.

Ha a modern kémiai kutatások elmúlt száz évére tekintünk vissza, büszkeséggel emlegetjük a magyar származású, kémiai Nobel-díjjal kitüntetett kutatókat: Richard Zsigmondy (1925), Hevesy György (1943), Polányi János (1986), Oláh György (1994), Hersko Ferenc (2014). Az életutak részletes ismertetése és az ilyenkor szokásos számháború nélkül hozzá kell fűznünk, sajnos egyikük sem magyar állampolgárként érte el kiemelkedő szakmai sikereit, Nobel-díját nem Magyarországra hozta haza. A kiváló kutatók közül Oláh György sikereit érezhetjük magunkhoz a legközelebbinek, hiszen már emigrálása előtt is kiemelkedő eredményeket ért el, és a magyar kutatókhoz fűződő szoros kapcsolatai haláláig megmaradtak. Alapítója a magyar kémikusok egyik legnagyobb elismerésnek örvendő szakmai díjának, az Oláh György-díjnak.

A kémiai kutatások eredményei megjelennek Szent-Györgyi Albert 1937. évi fiziológiai-orvostudományi Nobel-díjában – a mai napig előfordul, hogy őt is a kémiai Nobel-díjjal kitüntettek között emlegetik. Az ugyanezen területen Nobel-díjjal elismert Karikó Katalin (2023) már egy évvel korábban az esélyeket latolgató kémikus listákon is igen előkelő helyen szerepelt.

A Than Károlyt követő iskolateremtő szakmai nagyságok nemzetközi hírű szakmai műhelyeket hoztak létre. Közülük – a teljesség igénye nélkül – ki kell emelnünk Illosvay Lajos, Fabinyi Rudolf, Zemplén Géza, Bruckner Győző, Bognár Rezső és Zechmeister László munkásságát.

Nem lehet szó nélkül hagyni, hogy a hazai kémiai kutatók nemzetközi összehasonlításban is kiemelkedő eredményeiket gyakran a nyugati versenytársakhoz képest szerény felszereltséggel, alacsony támogatással érték el. Pécsi kutatóként különösen megérintett Szent-Györgyi Albert 1937-ben írt néhány mondata, miszerint ha Zechmeister nem ilyen sanyarú körülmények között dolgozna (mikromérleg hiányára utalt), most ketten utazhatnának Stockholmba (Deli 2022).

A hazai kémikusok legújabb kiemelkedő eredményeiről a Kémiai Tudományok Osztályának 2021-ben elindított „A hónap publikációja” oldaláról tájékozódhatunk. A neves kutatókból álló bizottság minden hónapban három közleményt választ ki az elméleti kémiai tárgyú közleményektől a biokémia területén született munkákig („A hónap publikációja” 2025). Az elmúlt néhány év tanúsága szerint ebbe a körbe csak a legnagyobb szakmai tekintélyű folyóiratokban publikált közlemények kerülhettek be.

A Kémiai Tudományok Osztálya a Magyar Tudomány jelen számában három olyan terület legkiválóbb hazai szakértőitől kért a szélesebb közvélemény számára is érthető közleményt, amelyek mindennapjaink részei, közvetlen gyakorlati fontosságuk nyilvánvaló.

A gyógyszeripar több mint egy évszázada a hazai ipar meghatározó eleme, mindvégig az érdeklődés homlokterében álló vegyipari ágazat. A gyógyszerkutatás területén – akadémiai szakmai műhelyekben és ipari laboratóriumokban – született kiemelkedő eredmények, az egészség megtartásának fontossága, valamint a média figyelme e terület számára kitüntetett helyet biztosít. A Keserű György Miklós és szerzőtársai által jegyzett közlemény ismerteti a hazai kutatóhelyek és ipari szereplők együttműködésének utóbbi években született ígéretes, új területeket is érintő eredményeit.

A rendelkezésre álló fosszilis szénhidrogénforrások mennyisége, várható kimerülése hosszú ideje szakmai viták tárgya. Az új motorhajtó anyagok és potenciális energiaforrások megjelenése és vitathatatlan fontossága ellenére az ásványolaj-, földgáz-technológiai és petrokémiai kutatások, az egyetemi, kutatóintézeti és ipari résztvevők fontosabb termék- és eljárásfejlesztési eredményei a következő években is meghatározzák életünket. Hancsók Jenő és szerzőtársai az e területen végzett kutatómunkáról és technológiai fejlesztésekről számolnak be.

A hazai szilikátkémiai technológiai ipar – a közismert építőipari alkalmazási területeken túl – olyan modern, anyagtudományi körbe eső termékek előállítója, mint például a bioaktív kerámiák és speciális kötőanyagok. Korim Tamás és szerzőtársai

közleményükben bemutatják az e területen bekövetkezett fejlődést, különös tekintettel a legfrissebb kutatási eredményekre.

A terjedelmi korlátokkal számolva sem lehetett vita tárgya, hogy a kémia oktatásának égetően fontos kérdéseivel is foglalkoznunk kell. Oktatóként, szülőként vagy a fiatal generáció képzését követő, az ország jövője iránt felelősséget érző állampolgárként azt látjuk, hogy a természettudományokhoz kötődő alaptárgyak, így a kémia oktatása körül egyre nagyobb gondok vannak, a hagyományos képzési struktúra alig tartható fenn. Az oktatási kérdések iránt (eddig) kevésbé érdeklődő olvasó Lente Gábor közleményében hihetetlennek tűnő, nem igazán szívdertítő adatokkal (tényekkel) is találkozunk. A szerző korábbi munkáit mintegy összegezve, pontos helyzetértékelés után – saját, széles körű oktatási és tehetséggondozási területen szerzett tapasztalatait felhasználva – javaslatokat is megfogalmaz. Reméljük, hogy e gondolatok nemcsak komoly vitát váltanak ki, hanem azok eredményeképpen az eddigieknél hatékonyabb tettekre és intézkedésekre is sor kerül.

Irodalomjegyzék

- „A hónap publikációja” (2025). *MTA.hu* (2025. júl. 3.). <https://mta.hu/vii-osztaly-a-honap-publikacioja>.
- „A Kémiai Tudományok Osztálya kezdeményezése az MTA 200. évfordulója alkalmából” (2025). *MTA.hu* (2025. júl. 2.). <https://mta.hu/vii-osztaly/a-kemiai-tudomanyok-osztalya-kezdemenyezese-az-mta-200-evforduloja-alkalmabol-114556>.
- Bazsa György (2025). *MTA200 – Kémia200*. Kézirat.
- Deli József (2022). „Emlékezés Zechmeister Lászlóra”. *Magyar Kémiai Folyóirat*, 128/1, 2–11. <https://doi.org/10.24100/mkf.2022.01.02>.
- Tömpe Péter, főszerk. (2007). *A Magyar Kémikusok Egyesülete centenáriumi emlékkönyve*. Budapest: Magyar Kémikusok Egyesülete.

A magyar gyógyszerkutatás és -fejlesztés a 21. században

Hungarian Pharmaceutical Research and Development in the 21st Century

Greiner István¹ – Kotschy András² – Volk Balázs³ – Keserő György Miklós⁴

¹kandidátus, kutatás-fejlesztési igazgató, Richter Gedeon Nyrt., Budapest

²az MTA doktora, igazgató, Servier Kutatóintézet Zrt., Budapest

³az MTA doktora, hatóanyag-fejlesztési igazgató, Egis Gyógyszergyár Zrt., Budapest

⁴az MTA rendes tagja, igazgató, Nemzeti Gyógyszerkutatási és Fejlesztési Laboratórium,
HUN-REN TTK Gyógyszerinnovációs Központ, Budapest
keseru.gyorgy@ttk.hu

Összefoglalás

A több mint százéves múltú magyar gyógyszerkutatás a 20. század végén bekövetkezett gazdaságpolitikai, piaci és iparági trendek változása ellenére a 21. században is megőrizte sikerességét. A hazánkban fejlesztett új eredeti gyógyszerkészítmények, valamint az európai és ezen belül a magyar betegek ellátásában is meghatározó jelentőségű generikus gyógyszerek ezt meggyőzően bizonyítják. Az egyetemi és kutatóintézeti környezetben született új terápiás ötletek közül már több is klinikai kutatási fázisba ért. A kutatóhelyek és az ipari szereplők együttműködése számos új területet érint, amelyek hozzájárulhatnak a hazai gyógyszerkutatás és -fejlesztés további eredményeihez.

Abstract

Despite changes in economic, market, and industry trends at the end of the 20th century, Hungarian pharmaceutical research, which has a history spanning more than 100 years, has remained successful in the 21st century. Original medicines developed in Hungary and generics, which are of major importance to patients in Europe and Hungary, are convincing proof of this success. Several new therapeutic ideas that have emerged in university and research institute environments have already entered clinical development. Collaboration between research centres and industry is touching on a number of new areas that could contribute to further progress in pharmaceutical research and development in Hungary.

Kulcsszavak: gyógyszerkutatás, gyógyszerfejlesztés, eredeti gyógyszerek, generikus gyógyszerek

Keywords: pharmaceutical research, drug development, original drugs, generic drugs

Bevezetés

Az MTA Biológiai és Orvosi Osztályának Közleményeiben 65 évvel ezelőtt jelent meg Issekutz Béla rendes tag összefoglalója a magyar gyógyszerkutatás történetéről. Részletesen beszámol a hazai kísérletes farmakológia úttörői, Balogh Kálmán, Hőgyes Endre és Bókay Árpád első terápiás értékű felismeréseiről; kezdve Richter Gedeon

első organoterápiás hormonális készítményeivel, a Wolf Emil és Kereszty György vezetésével előállított első alkaloidszármazékokon át egészen a II. világháborút követően átalakult kutatóhelyek által elért fontos eredményekig (Issekutz 1960).

A rendszerváltásig terjedő időszak sikerei közül eredeti gyógyszerek egész sora emelkedik ki, köztük a görcsoldó drotaverin, a köhögéscsillapító prenoxdiazin, a fájdalomcsillapító rimazolium, a csonttrikulásra ható ipriflavon, az agyi vérrellátást javító vinpocetin, az izomlazító tolperizon, valamint a trimetozin és tofizopam trankvilánsok (Fehérvári 2009).

Érdemes azonban megemlíteni, hogy ezek a gyógyszerek a korszak gazdaságpolitikai irányelveinek megfelelően néhány kivételtől eltekintve (tofizopam, vinpocetin, tolperizon, ipriflavon: Japán), csak a KGST-országokban kerültek bevezetésre. A rendszerváltástól az ezredfordulóig azonban alapvető változások történtek a hazai gyógyszerkutatás szervezeti kereteiben és működésében. A privatizáció a teljes gyógyszeripari szegmenst érintette, így a gyógyszerkutatással foglalkozó ipari szereplők tulajdonosi szerkezete alapvetően megváltozott.

Az Alkaloida az amerikai International Chemical Nuclear Pharmaceuticals Inc., a Biogal és a Human az izraeli Teva, a Chinoin a francia Sanofi, az Egis a szintén francia Servier többségi tulajdonába került, míg a Richterben pénzügyi befektetők jelentek meg a magyar állam kisebbségi tulajdona mellett. A szakmai befektetők a vállalatokban jelentős átalakításokat hajtottak végre, amelyek érintették az alkalmazotti létszámot, a tevékenység- és termékportfóliót és a kutatás-fejlesztés prioritásait (Antalóczy 2001).

Az ezredfordulóra a kutatási és fejlesztési szervezetek integrálódtak az anyavállalatok globális szervezetébe, majd fókuszuk döntően a generikus fejlesztés irányába fordult. Az egykori Chinoinban a Sanofi 2011-ben bezárta a magyarországi kutatási részlegét. A korábban az originális kutatás területén is aktív Egis kutatás-fejlesztési tevékenysége ma szintén a generikus területre korlátozódik, és a Teva irányítása alatt a korábbi Biogal is kizárólag generikus fejlesztéseket valósít meg. A Richter azonban a generikus fejlesztések mellett központi idegrendszeri fókusszal megerősítette eredeti kutatását. A Servier pedig 2007-ben Budapesten hozta létre az originális gyógyszerkutatási tevékenység kémiai támogatására hivatott intézetét, a Servier Gyógyászati Vegytani Kutatóintézetet.

Mindeközben az egyetemi és kutatóintézeti háttér is jelentős szerkezeti változásokon esett át. Az előbbiek esetében a növekvő hallgatói létszám az oktatási feladatok növekedéséhez vezetett, míg utóbbiak esetében a finanszírozási nehézségek a többszöri átszervezés ellenére is komoly korlátokat jelentettek. Megszűnt a Gyógyszerkutató Intézet, az MTA Kísérleti Orvostudományi Kutatóintézete pedig a gyógyszerkutatásról a kiemelkedően sikeres neurobiológiára tette át a hangsúlyt, míg az MTA Központi Kémiai Kutatóintézetében a gyógyszerkutatás biológiai háttere hiányzott. E változások és korlátok következtében a magyar gyógyszerkutatásnak az ezredfordulón komoly kihívásokkal kellett szembenéznie.

Egyetemi-kutatóintézeti kutatások

A 2000-es évek első évtizedére a gyógyszeripari elemzők között szinte általánossá vált az a meggyőződés, amely szerint az adott évben bevezetett új gyógyszerek 1996 és 2003 között folyamatosan csökkenő, majd 2004 és 2010 között stagnáló számának hátterében az iparági kutatás-fejlesztés hatékonyságának problémái állnak (Mullard 2018).

A nemzetközi gyógyszeripar erre a felismerésre a kutatás-fejlesztéssel foglalkozó egységek számának csökkentésével, jelentős kutatói elbocsátásokkal és további vállalati összevonásokkal reagált, amelyek együttesen végül számottevő mértékben csökkentették a gyógyszeriparban foglalkoztatott K+F létszámot. Ráadásul a gyógyszeripari szereplők egyes kiemelten erőforrásigényes és a klinikai vizsgálatok kimenetele szempontjából nagyobb kockázatot jelentő terápiás területről is kivonultak. Bár a gyógyszeripari K+F hatékonyságát ezek az intézkedések önmagukban nem voltak képesek lényegesen növelni, hozzájárultak az iparág K+F trendjeinek az elmúlt évtizedekben tapasztalt változásához. A továbbra is kielégítetlen orvosi igényekkel egyidejűleg jelentkező K+F erőforráshiány és finanszírozás a korábban alapvetően vállalatokra alapozott kutatási és fejlesztési tevékenységben átrendeződéseket eredményezett. Egyfelől a korai kutatási és fejlesztési projektek ma már sok esetben az egyetemi-akadémiai, illetve a kkv-szektorból indulnak. Ebben a fejlesztések szakmai tartalmának változásai is szerepet játszanak, ugyanis a hatóanyagok fejlesztése mára összekapcsolódott a releváns diagnosztikumok fejlesztésével. Másfelől a fejlesztési projektek korai szakaszának finanszírozásában egyre jelentősebb szerep jut az állami KFI finanszírozásnak és a (kockázati) tőkebefektetéseknek.

Ezek a változások együttesen arra készítették a gyógyszeripari szereplőket, hogy a korábban is létező akadémiai-ipari kapcsolatok fellendítése és kiterjesztése érdekében új együttműködési formákat és versenyképesebb feltételrendszert dolgozzanak ki. Ezek között érdemes megemlíteni a nyílt innovációs modellt, különböző PPP (public-private partnership) konstrukciókat, új versenypályázati lehetőségeket, valamint oktatási és továbbképzési együttműködéseket (Khanna 2012).

A vállalati K+F létszám csökkentésével a kikerülő munkavállalók jelentős része éppen az egyetemi-akadémiai szférában, illetve a kkv-szektorban helyezkedett el. Ezek a szektorok így mára már nem csupán az ötletgenerálásban kaphatnak szerepet, hanem a képzett munkaerőnek és a megfelelő finanszírozásnak köszönhetően valódi partnerként tudnak együttműködni a gyógyszeripari szereplőkkel.

Az akadémiai-ipari együttműködések a gyógyszerkutatások történetében jelentős mértékben járultak hozzá új terápiás lehetőségek azonosításához. Egy, az Egyesült Államokban készült elemzés az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hivatala (Food and Drug Administration, FDA) által jóváhagyott 357 gyógyszert vizsgálva azt találta, hogy ezek 48%-a köthető az akadémiai szektorhoz (Lincker et al. 2014).

Egy szélesebb körű vizsgálat immár az FDA által elfogadott 1453 eredeti gyógyszer 55%-a esetében igazolta a közszféra részvételét (Patridge et al. 2015). Nem csoda

tehát, hogy a gyógyszerkutatás és -fejlesztés szakmai, szervezeti és finanszírozási hátterének jelentős változásával az akadémiai együttműködések felértékelődtek (Schuhmacher–Gassmann–Hinder 2016).

Hasonló változásokat figyelhetünk meg a hazai gyógyszerkutatásban is. A 2000-es évek második évtizedétől a versenypályázati rendszerek átalakításával rendszeressé váltak a közfinanszírozott kutatóhelyek és vállalatok együttműködését támogató pályázatok, amelyeknek köszönhetően az ipari szereplők költséghatékony kutatás-fejlesztési projekteket valósíthattak meg.

Az MTA kutatóintézeteinek 2012-ben bekövetkezett átszervezésével a gyógyszerkutatás multidiszciplináris jellegével összhangban létrejött a Természettudományi Kutatóközpont, ahol a hazai gyógyszeripari szereplők által művelt eredeti kutatási profilnak megfelelően a gyógyszerkémia mellett központi idegrendszeri és onkológiai kutatások folynak. Fontos további lehetőségeket hozott a Nemzeti Laboratóriumok hálózata, amelyek több közfinanszírozású kutatóhely konzorciumaként alaptevékenységükben az ipari szereplőkkel közösen megvalósított, rövid és középtávon hasznosítható K+F projektekre fókuszálnak. A magyar gyógyszeripar innovációs ökoszisztémájának harmadik pillérét az innovatív kkv-k jelentik, amelyek gyakran az egyetemi-kutatóintézeti szférából indulnak.

Az elmúlt években két ilyen kisvállalkozás is sikeresen indított klinikai vizsgálatokat saját fejlesztésű gyógyszerjelöltekkel. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Biológiai Intézetében évtizedek óta kutatják az izomműködés hátterében álló miozin fehérjék működését.

Az ELTE *spin-c.jf* cégeként létrehozott Motorpharma Kft. 2018-ban olyan molekulacsalád fejlesztésébe fogott, amely ezen fehérjék működésének befolyásolásával alkalmas lehet a krónikus izomgörcsök oldására. Az MPH-220 gyógyszerjelölttel elért preklinikai kutatási eredményeket 2020-ban a *Cell* folyóiratban publikálták, amely felkeltette a befektetők érdeklődését (Gyimesi et al. 2020). Végül az Aditum Bio kockázati tőke-társasággal történt megállapodásnak köszönhetően érkezett tőkebefektetés segítségével, a preklinikai fejlesztés befejezését és a klinikai vizsgálatok engedélyezését követően a vegyület már a humán klinikai kipróbálás szakába ért.

Szintén egyetemi laboratóriumokból indult az a kutatás, amelynek keretében a Pécsi Tudományegyetem (PTE) farmakológusai a Semmelweis Egyetem (SE) kutatóival együtt fejlesztettek új hatásmechanizmusú molekulát a neuropátiás fájdalom kezelésére. Az SZV-1287 vegyület hatásmechanizmusát tekintve gátolja a szemikarbazid-szenzitív aminoszáz enzimét, és csökkenti két, a fájdalomérzékelésben és -közvetítésben kulcsszerepet játszó tranziens receptor potenciál ioncsatorna (TRPA1, TRPV1) aktivációját (Horváth et al. 2018).

A több támadáspontú gyógyszerjelölt számos preklinikai modellben hatásos, és emberben egyszeri adagolás után biztonságosnak bizonyult. Jelenleg a PTE, a Nemzeti Gyógyszerkutatási és Fejlesztési Laboratórium és a kutatók által alapított Algonist Biotechnologies startup együttesen folytatja a klinikai vizsgálatokat. Az

átalakuló intézményrendszernek, az új pályázati és támogatási lehetőségeknek, az egyre jelentősebbé váló szakirányú startup ökoszisztémának, valamint az ipari szereplők növekvő érdeklődésének köszönhetően joggal bízhatunk abban, hogy a hasonló példák száma a közeljövőben sokszorosára nő.

Eredeti gyógyszerkutatás

Az originális gyógyszerkutatás, vagyis az a fajta gyógyszerkutatás, amelyik egy teljesen új molekula felfedezésére (feltalálására) irányul, mind kutatás-fejlesztési, azaz tudományos, mind üzleti szempontból rendkívül nagy kihívás. Az első értelemben azért, mert nagyon sok tudományág együttes ismeretéről, a korábban megszerzett tudás közös alkalmazásáról, az így keletkező eredmények megfelelő értelmezéséről és döntéselőkészítő információként történő felhasználásáról van szó. Az üzleti kihívások pedig elsősorban abban rejlenek, hogy nagyon hosszú ideig nagyon sok pénzt kell befektetni a megterülés alacsony reményével, és erre az üzleti kockázatvállalásra ma csak vagy nagyon tőkeerős, vagy nagyon elszánt cégek hajlandóak. Egy ilyen folyamat, feltételezve, hogy minden mérföldkövet sikeresen teljesít az adott K+F csapat, 10–15 évig is eltart és átlagosan 1,1 milliárd USD (2018-as dollár értéken) költséget emészt fel, a 2009 és 2018 közötti időszakban az FDA által jóváhagyott gyógyszerekre elérhető adatok alapján (Wouters–McKee–Luyten 2020). Egy ma kezdődő gyógyszerkutatási projekt esetében a sikeres piacra lépésig (2035–2040) ennek a pénznek közel kétszeresét kell majd elkölteni.

A kismolekulás originális gyógyszerkutatás folyamata az alábbi részfolyamatokra bontható (mellettük a leggyakrabban használt angol terminológia):

1. Biológiai célpont meghatározása (target identification and validation)
2. Klinikai jelölt kiválasztása az új (esetleg ismert) vegyületek közül, azaz a preklinikai kutatás és fejlesztés (clinical candidate selection)
 - a) Kémiai kiindulópont azonosítása (hit finding)
 - b) Vezérmolekula kialakítása (hit to lead process)
 - c) Vezérmolekula optimalizálása (lead optimization, preclinical candidate selection)
 - d) Az optimalizált molekula klinika előtti biztonságossági vizsgálata (IND enabling studies of preclinical candidate)
3. Klinikai vizsgálatok (clinical trials)
 - a) Fázis I. vizsgálatok
 - b) Fázis II. vizsgálatok
 - c) Fázis III. vizsgálatok
4. Törzskönyvezés (regulatory process)

A nagymolekulák világában folyó gyógyszerkutatás preklinikai szakaszai kismértékben eltérnek a fenti részfolyamatoktól, de a vezérlő elv mindkét esetben azonos, így számos közös eleme van.

A biológiai célpont kiválasztásánál elsődleges szempont, hogy valamilyen kielégítetlen orvosi igényre (unmet medical need) szolgáltatson választ a gyógyszerfejlesztés, azaz a célpontot még nem vagy nem megfelelően gyógyított indikációhoz vagy tünethez lehessen rendelni. Ennek a folyamatnak jelentős része nem a gyógyszergyáraknál, gyógyszerkutató és -fejlesztő cégeknél folyik, hanem az úgynevezett akadémiai kutatóhelyeken (egyetemek, kutatóintézetek), a gyógyszeripari ökoszisztéma részeként. A megszerzett ismereteket vagy publikációként teszik közzé, így mindenki által elérhető az ismeret, vagy ha célfinanszírozott munkát végeznek, akkor csak a finanszírozó jut hozzá ezekhez az ismeretekhez. Ez utóbbi számottevő előnyt jelenthet a finanszírozó cégnek.

A biológiai célpont ismeretében elkezdődik a kémiai kiindulópont keresése. Ez lehet már ismert ligandum, vagy történhet akár a biológiai célpont szerkezetéből kiindulva, ha ezek legalább egyike hozzáférhető, illetve vegyülettárak tesztelésével (például nagy áteresztőképességű szűrés [High-Throughput Screening, HTS], affinitásválasztásos tömegspektrometriai szűrés [Affinity Selection Mass Spectrometry, ASMS] vagy DNS-kódolt könyvtárszűrés [DNA-Encoded Library, DEL screening]), amennyiben már elkészült a biológiai tesztelési módszer, és rendelkezünk vegyülettárral. A kiindulópont kereséséhez célszerű kisebb móltömegű vegyületeket (fragmenseket) is vizsgálni, ezen szerkezetekből később könnyebben építkezhetünk.

A kiindulópont szerkezetének továbbalakításával és az új vegyületek biológiai eredményeinek felhasználásával szerkezet-hatás összefüggések feltárása útján juthatunk el egy olyan vegyülethez, amelyik hatékonyság szempontjából már eléri az általunk elvártat, de természetesen még nem felel meg az összes kívánalomnak (oldhatóság, ADME-szempontok [absorption, distribution, metabolism, and excretion], farmakokinetika, stabilitás, biztonságosság stb.). Ez a vezérmolekula kialakításának folyamata.

A vezérmolekula továbbalakítása csak ezután kezdődhet el, ennek során olyan multiparaméteres optimalizációt hajtanak végre a gyógyszervegyészek, melynek eredményképpen – ha minden sikerrel zajlik – a fejlesztésre alkalmasnak tűnő vegyülethez jutunk (optimalizált vezérmolekula vagy preclinical candidate).

Az ezután elvégzendő, szigorú dokumentációs követelményekhez kötött (Good Laboratory Practice, GLP) biztonságossági vizsgálatok sikeres kimenetele után indulhat majd csak el a klinikai vizsgálatokhoz szükséges engedélyek megszerzése, egy több ezer oldalas dokumentum (Investigational New Drug, IND) benyújtásával a hatóságok számára. Legkésőbb ezen időszak alatt el kell kezdeni a humán gyógyszerkészítmény kifejlesztését is, amely az első vizsgálatokban (Fázis I. és II.) még lehet egyszerű, akár nem túl kényelmesen alkalmazható is, de az utána következő vizsgálatokat már a végleges gyógyszerformulával kell elvégezni.

A Fázis I. vizsgálat elsődleges célja a gyógyszerjelölt tolerálhatóságának meghatározása egyszeri, majd többszöri adagolás esetén, orális alkalmazással, beleértve az étkezés hatását a felszívódásra. Ezt a vizsgálatot az esetek többségében egészséges önkénteseken végzik, így ez nem indikációs-specifikus vizsgálat. Egyes betegségek

esetében a Fázis I. vizsgálatot is már beteg önkénteseken végzik, például onkológiai hatásterületeken.

Ettől eltérően a Fázis II. vizsgálat során már beteg önkénteseken vizsgálják, hogy a tolerálható dózisban jelentkezik-e a gyógyszerjelölt előnyös hatása. Ekkor a fő cél legalább egy hatékony dózis megtalálása. Természetesen, ahogy minden humán vizsgálatnál, itt is folyik a biztonságossági adatok gyűjtése és feldolgozása.

A Fázis III. vizsgálatok célja nagy betegpopuláción megerősíteni, validálni a szer előnyös tulajdonságát a placebohoz vagy a gyógyításhoz már használatban lévő legjobb vegyülethez képest. Ezek a vizsgálatok több ezer beteg bevonásával zajlanak, és általában két ilyen vizsgálatnak kell pozitívnak lenni a forgalomba hozatal engedélyezéséhez. Ez alól kivételt például a ritka betegségek képeznek, ott elég egy pozitív vizsgálat is.

Ha a gyógyszerjelöltünk megfelelt mind a hatékonysági, mind a biztonságossági elvárásoknak, és ezt hatósági konzultációk is megerősítették, elkészíthető és beadható a törzskönyvi engedélykérelem. Ekkor az elektronikusan benyújtandó dokumentáció akár 1 millió oldalt is kitehet. A hatóság a kérelem elbírálását egy-másfél évig végzi, közben lehetőséget adva a benyújtónak a hatóság tisztázó kérdéseinek megválaszolására. A törzskönyvi engedély megszerzésének folyamata országonként és régióként is eltérő, így közel annyi engedélyt kell megszerezni, ahány országban forgalomba szeretnénk hozni a termékünket.

A feladatok az engedélyek megszerzésével nem fejeződnek be, a hatóság számos további vizsgálatot szokott előírni (például gyermekgyógyászati vizsgálatokat), és farmakovigilancia (mellékhatás bejelentéseket feldolgozó) kötelezettség is keletkezik. Fontos továbbá megjegyezni, hogy a folyamatos árerózió miatt az előállítási költségek csökkentésének vizsgálata is állandó feladat a piacra lépés után.

A kémiával foglalkozó szakemberek szerepe ebben a folyamatban elsősorban a preklinikai tevékenységeknél fontos, a gyógyszerkémikusok kiemelkedő és meghatározó hozzájárulást adnak a kémiai kiindulóponttól egészen az optimalizált vezérmolekula kiválasztásáig. A fejlesztő vegyészek feladata a legmegfelelőbb hatóanyaggyártó eljárások kialakítása minden méretnövelési szakaszban, nagylabortól a félüzemen át az üzemi gyártásig.

Természetesen az analitikai kémiával foglalkozó szakemberek ezeket a folyamatokat a szerkezetkutatástól a minőségbiztosításig végigkísérik fontos tevékenységükkel. Továbbá a fejlesztés alatti, illetve a végleges gyógyszerformák kialakításában is meghatározó szerepet játszanak a kémiához értő kutatók és fejlesztők.

Az eredeti (originális) gyógyszerkutatás területén az eddigi legnagyobb hazai eredményt a Richter Gedeon Nyrt. kutató-fejlesztő szakemberei érték el, amikor 2015-ben a kariprazin (cariprazine) hatóanyagot tartalmazó gyógyszerre – az amerikai partnerrel együttműködésben – megszerezték az USA, majd további több mint 65 ország területére vonatkozó forgalombahozatali engedélyeket. Ez a termék azóta – a magyar gyógyszeripar történetében egyedülállóan – háromszoros blockbuster (milliárdos kasszasiker) státuszt ért el, mivel az éves forgalma mára már meghaladta a 3 milliárd dollárt.

A közelmúltban alakult Servier Kutatóintézet is több originális gyógyszerjelöltet indított útjára, elsősorban a rákgyógyítás területén. A legnagyobb figyelmet a prog-ramozott sejthalál visszaállítását célzó készítményei kapták, mint például az MCL-1 fehérje működését szelektíven gátló vegyületek, melyek a gyógyítási potenciáljuk mellett számos fontos tudományos kérdésre is segítettek választ adni (Kotschy et al. 2016).

Generikus gyógyszerfejlesztés

Az eredeti gyógyszerek számára – itt nem részletezett módon meghatározott időszakra – monopol piaci helyzetet teremtenek a szabadalmi oltalmak, illetve az adatkizárólagosság intézménye. Az oltalom lehetővé teszi az eredeti gyógyszert piacra hozó (originátor) cég számára, hogy ezen időszak alatt kizárólagosan értékesítse a terméket, ezáltal a fejlesztésre fordított költséget visszanyerje, továbbá nyereséget termeljen, amely nyereség többek között későbbi kutatásaihoz is fedezetet teremt. Az oltalmi időszak lejártá után az originális gyógyszer versenytársaiként az úgynevezett generikus gyógyszergyárak is piacra léphetnek saját, azonos hatóanyagot tartalmazó készítményeikkel, a generikus gyógyszerekkel, más néven generikumokkal („What’s the Difference...” 2014).

A generikus gyógyszerfejlesztés folyamata magában foglalja a hatóanyag és a belőle előállított készítmény költséghatékony, robusztus és biztonságos, hatósági irányelveknek megfelelően validált gyártóeljárásának kidolgozását, laborszintű kísérletektől több méretnövelési lépésen át egészen az üzemi gyártási tétel (sarzs) méretig. A teljes fejlesztési folyamatot végigkíséri – mind hatóanyag, mind késztermék oldalán – a megfelelő analitikai módszerek kifejlesztése és validálása. Amennyiben laboratóriumi mérések alapján a generikus termék az originális (referens) készítménnyel alapvetően azonos kioldódást mutat, emberekben végzett bioekvivalencia-vizsgálatra vihető (Baumgärtel 2012). A független, akkreditált kutatóhelyen egészséges önkénteseken végzett, leggyakrabban egyszeri adagolású farmakokinetikai vizsgálat célja annak igazolása, hogy a generikus változat és a referens gyógyszer plazmakoncentráció–idő görbéje statisztikai hibahatáron belül átfed egymással. Ez bizonyítja, hogy a tesztkészítmény felszívódásának sebessége és mértéke közel azonos a referens készítmény felszívódásával, és biztonságosságuk is nagymértékben hasonló, vagyis a generikus gyógyszer hatékonyság és biztonságosság szempontjából egyenértékű az originálissal. A bioekvivalencia-vizsgálat lehetővé teszi a generikus cég számára az originátor által elvégzett preklinikai, valamint a rendkívül költséges humán klinikai vizsgálatok elhagyását.

A klasszikus generikumok ugyanaz(oka)t a hatóanyag(oka)t tartalmazzák, mint az originális termék, ugyanabban a dózisban és adagolási rendben, ugyanarra a terápiás célra. A gyógyszerforma is alapvetően hasonló, de például gyors hatóanyagleadású készítmények esetén egy originális tabletta a generikus termékben más szilárd gyógyszerformával (filmtabletta, kapszula) helyettesíthető, amennyiben fejlesztési szempontok vagy költség-, illetve marketingmegfontolások ezt indokoltá teszik.

Hasonlóképpen eltérőek lehetnek a generikus készítményben alkalmazott segédanyagok típusai és mennyisége, ebből adódóan a gyógyszer mérete, formája, színe és íze, valamint csomagolása.

Amennyiben a generikus gyógyszert fejlesztő cég – jelentősebb piaci sikert megelőzve – megkülönböztető előnyt kíván biztosítani a terméke számára, egyéb paraméterekben is eltérhet az originális készítménytől. A hatóanyagnak eltérő kristályos módosulata (polimorfja), illetve – ha sóképzésre alkalmas – eltérő sóformája is alkalmazható, amennyiben nem befolyásolja a készítmény biztonságosságát és igazolható a bioekvivalencia. Az alternatív hatóanyagformát különösen iparjogi megfontolások tehetik szükségessé, amennyiben az originális készítményben megtalálható polimorfot vagy sőt késői lejárátú, ezáltal a lehető legkorábbi piacra lépést gátló szabadalom védi.

A betegek terápiahűsége növelhető olyan gyógyszerekkel, amelyek két vagy több, külön-külön szedett gyógyszer helyett egyetlen, úgynevezett fix dózisú kombinációs készítményben tartalmazzák a különböző hatóanyagokat. Egyes kombinációs készítmények esetén bioekvivalencia-vizsgálattal igazolandó, hogy az összetevők külön gyógyszerformában való, egyidejű alkalmazásával szerzett hatékonysági és biztonságossági adatok érvényesek a fix dózisú kombinációs készítményre is.

Lehetőség van továbbá arra is, hogy a generikus cég egy már piacon lévő készítmény más adagolási formájú változatát fejlessze ki. Ilyenek például az ételinterakcióra nem érzékeny tabletta, a napi kétszeri helyett napi egyszeri szedést igénylő készítmények vagy a szájon át szedhető fájdalomcsillapító helyett lokálisan alkalmazható gél. Ezek azonban a klasszikus generikus fejlesztésekhez képest már lényegesen költségesebbek és nagyobb kockázatúak, továbbá a terápiás hatás jellemzéséhez a bioekvivalencia-vizsgálatnál kiterjedtebb klinikai vizsgálatok szükségesek.

A generikus gyógyszerfejlesztés kezdetén az originális gyógyszer bizonyos jellemzői (hatóanyag, dózis, adagolási rend, segédanyagok fajtái, készítmény lejárati ideje, tárolási körülményei) ismertek, más fontos információk (hatóanyag polimorf módosulata, segédanyagok mennyisége, hatóanyag- és készítménygyártó eljárás, hatóanyag kioldódásának üteme a készítményből) azonban nem állnak rendelkezésre. Ebből kifolyólag a generikus gyógyszerfejlesztés sem egyszerű „másolás”, hanem egy nagy létszámú, tapasztalt és hozzáértő fejlesztő csapat több éven keresztül folytatott innovatív együttműködése. Mivel a generikumokra ugyanazon szigorú hatósági elvárások vonatkoznak, mint a referenciatermékekre, a fejlesztés eredménye kifogástalan minőségű, az originális készítményt terápiásan helyettesítő gyógyszer.

A generikus gyógyszerek piaca folyamatosan növekszik (Baumgärtel 2012). 2024-ben az iparág 445 milliárd dollár értékű gyógyszert értékesített világszinten, 2030-ig ez az összeg várhatóan megközelíti a 600 milliárd dollárt (Mikulic 2024; „Generic Drugs Market...” d. n.). Az igen drága humán klinikai vizsgálatok elhagyhatósága révén a generikus gyógyszerek fejlesztési költsége mintegy három nagyságrenddel alacsonyabb az originálisénál, és a fejlesztés ideje is jóval rövidebb. Ezáltal, illetve az originátor monopolhelyzetének megszűnése révén jelentkező piaci verseny következtében a generikumok az originális készítmények lényegesen olcsóbb helyettesítői.

Ez biztosítja azt, hogy mind az egyes országok gyógyszerkasszája, mind a betegek számára csökkennek az anyagi terhek, és a betegek szélesebb körben juthatnak hozzá a számukra megfelelő gyógyszeres terápiához.

A hazai generikus gyógyszerfejlesztés egyik közelmúltbeli sikertörténete az Egis Gyógyszergyár Zrt. magas koleszterinszint kezelésében alkalmazott, cinksó hatóanyagot tartalmazó rosuvastatin készítménye. A fejlesztési projekt keretében a cég – a világon egyedülként – sikerrel állította elő az egyik legjelentősebb forgalmú originális gyógyszer szabadalomkerülő sóformáját, a rosuvastatin cinket. A világ legnagyobb generikus vállalatával együttműködve sikerült a gyógyszer generikus változatát 2016-ban az USA piacon elsőként megjelentetni oly módon, hogy a termék közel negyedéves piaci kizárólagosságot élvezett („Az Egis 110 millió dolláros...” 2016). Ez a fejlesztés képezte a későbbiekben piacra hozott rosuvastatin–ezetimibe fix dózisú kombinációs gyógyszer alapját is, amely kombinált lipidcsökkentő kezelés révén csökkenti az érelmeszesedéssel összefüggő kardiovaszkuláris események kockázatát.

A hazai generikus gyógyszerfejlesztés egyik különleges példája a favipiravir tartalmú gyógyszerkészítmények piacra hozatala. 2021-ben, a Covid19-járvány idején igen hatékonyan, több kutatóhely együttműködésével sikerült a gyógyszer ellátásbiztonságát megerősíteni a magyar betegek számára. A látszólag egyszerű kémiai szerkezetű hatóanyag váratlanul sok kihívással járó laboratóriumi fejlesztését a Természettudományi Kutatóközpont (ma HUN-REN TTK), a nagyobb léptékű előállításához szükséges méretnövelést az Első Vegyi Industria Zrt., végül a középüzemi eljárás kidolgozását a Richter Gedeon Nyrt. végezte („Sikeres a magyar favipiravir...” 2021).

A teljes fejlesztés kiemelkedően gyorsan, mindössze néhány hónap leforgása alatt valósult meg. A hatóanyagból a klinikai vizsgálatra kerülő innovatív, a releváns szabadalmat kerülő gyógyszerkészítményt a Meditop Gyógyszeripari Kft. dolgozta ki. A magyar betegek ellátása a Meditop készítmény és az Egis által fejlesztett gyógyszer révén valósult meg.

Új irányok a gyógyszerkutatásban

A humán genomnak a 21. század hajnalán bekövetkezett feltérképezése (International Human Genome Sequencing Consortium 2001) és az egyre hatékonyabb génszekvenálás eredményeként az elmúlt két évtizedben összegyűjtött nagy mennyiségű információ új távlatokat nyitott a gyógyszerkutatásban. A betegségek és genetikai elváltozások közötti kapcsolat feltérképezése jelentősen kibővítette az ígéretes gyógyszercélpontok körét. Ugyanakkor a szerkezeti biológiai ismeretek ugrásszerű bővülése arra is rávilágított, hogy e célpontok számottevő része feltehetőleg az úgynevezett „undruggable”, azaz kismolekulás gyógyszerekkel közvetlenül nem támadható fehérjék családjába tartozik (Oprea et al. 2018). A gyógyszerkutatók e kihívásra két eltérő úton is keresik a megoldást: az egyik lehetőség a kismolekulás térből való kilépés, a másik pedig a biológiai hatások tárházának az aktiválás-gátlás területen túli kiterjesztése.

A hatóanyag besorolása szempontjából a hagyományos kismolekulák mellett az új kémiai entitás (NCE) kategóriába tartoznak a peptidek-fehérjék, valamint az oligonukleotidok is. E két vegyületcsalád esetében a lehetséges célpontok köre ugyan korlátozottabb, viszont olyan hatékonyságot és szelektivitást érhetnek el, amely a hagyományos kismolekulák számára lehetetlen. A technológiai háttér dinamikus fejlődése oda vezetett, hogy a peptid- és nukleotidalapú gyógyszerkémiái szintézisek jóval hatékonyabbak a hagyományos kismolekulák előállításánál. Ugyanakkor ezen hatóanyagtípusok biológiai membránokon való átjutásának nehézsége (például felszívódás a gyomor- és béltraktusból, átjutás a vér-agy gáton és a sejtmembránon) komoly korlátot jelent elterjedésüknek. Mivel biológiai-gyógyászati szempontból nagyon ígéretesek, jelentős kutatás folyik mind a szájon át adható peptidek, mind a vér-agy gáton átjutó oligonukleotidok kifejlesztését megcélózva. E területen a legnagyobb áttörést az elmúlt évtizedben néhány tablettá formájában adható peptid hatóanyag fejlesztése jelentette.

Az előzőekben ismertetett, nagy hagyományokkal bíró hazai kismolekulás kutatások mellett fontos megemlíteni, hogy az új gyógyszerkémiái irányzatok kutatására több sikeres példát találunk itthon is, elsősorban az akadémiai szférában. A peptid-alapú hatóanyagok és kismolekulás konjugátumaik vizsgálata terén szép eredményeket értek el többek között a Szegedi Tudományegyetem, az Eötvös Loránd Tudományegyetem, a HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont és a Szegedi Biológiai Központ kutatói.

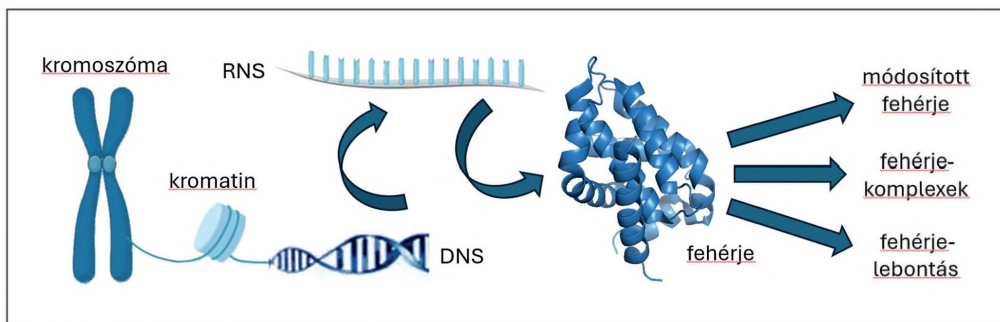
1. táblázat. A gyógyszerkémiái modalitások, jellemző célpontjaik és molekuláris hatásuk áttekintése

Modalitás	Jellemző célpont	Molekuláris hatás
kismolekulák (NCE)	fehérjék, nukleinsavak	gátlás, aktiválás, célpont mennyiségének változása
peptidek, fehérjék (NCE)	fehérjék	gátlás, aktiválás
oligonukleotidok (NCE)	nukleinsav (RNS)	fehérjeszint-változás
antitestek, kismolekula-antitest konjugátumok	fehérjék (extracelluláris), a kismolekula célpontjai	receptorgátlás, mennyiség csökkenése, a hordozott kismolekula hatása, komplex biológiai válasz
génterápia	DNS	változás a fehérjesszekvenciában, -mennyiségben
sejterápia	őssejtek, immunsejtek	komplex biológiai válasz
vírusok, baktériumok	sejtek, mikrobiom	komplex biológiai válasz

Forrás: saját szerkesztés, a táblázatot Kotschy András készítette

A teljesség kedvéért fontos megemlíteni, hogy a hatóanyag molekuláinak méretét tovább növelve az új biológiai entitások (New Biologic Entity, NBE) területére jutunk, amely a gyógyszerkutatás szempontjából számos új, ígéretes megközelítést tartalmaz, például a különböző antitestek és antitest-kismolekula konjugátumok kutatását, a gén- és sejterápiás megközelítéseket, valamint a vírusok és baktériumok gyógyításban való alkalmazását (1. táblázat). A terápiás antitestek, illetve a kismolekula-antitest konjugátumok kutatása többek között az Eötvös Loránd Tudományegyetemen és a HUN-REN Természettudományi Kutatóközpontban folyik.

Míg a 20. századi gyógyszerkutatás elsősorban a célfehérje aktivitásának közvetlen befolyásolására (gátlás, aktiválás) törekedett, addig a 21. század kezdetére a molekuláris biológiai folyamatok részletesebb, illetve rendszerszintű megértése a vállalkozó kedvű kutatókat új megközelítések feltérképezésére sarkallta. Az egyik fontos irányzat a sejt replikációs, fehérjeszintetizáló és -lebontó folyamatainak részletesebb megismerésén alapul (1. ábra). E folyamatokba beavatkozva ugyanis lehetőség nyílik arra, hogy a célzott fehérje vagy fehérjék egy csoportjának mennyiségét befolyásoljuk, és így avatkozzunk be a biológiai folyamatokba. Ezen megközelítésbe sorolható például a DNS-replikációban részt vevő fehérjék támadása, az mRNS-ek gátlásán vagy erősítésén keresztül ható oligonukleotidok, vagy a célfehérje lebontását irányítottan aktiváló (molekuláris ragasztó, proteolízis célzó kiméra [Proteolysis-targeting Chimera, PROTAC]) vagy gátló vegyületek (proteáz inhibitor, deubikvitináz [DUB] inhibitorok) is. Természetesen az újonnan megjelent biológiai célpontok és hatásmechanizmusok köre ennél jóval gazdagabb.



1. ábra. Egy fehérje „életútja” a kromozómától a lebontásig
 Forrás: saját szerkesztés, az ábrát Kotschy András készítette

Az összetett biológiai folyamatok jobb megértése olyan új megközelítéseket tett lehetővé, mint például a DNS-átírás szabályozásának (epigenetikus reguláció) vagy az immunrendszer működésének irányított befolyásolása. Ez esetekben a kismolekulás hatóanyag vagy biológikum a sejtben belül vagy a szerv, szervezet szintjén komplex változásokat indít el. E megközelítések például a reumatológiai, az autoimmun betegségek vagy a rákos betegségek gyógyításában is új távlatokat nyitottak. Ugyanígy

izgalmas új gyógyszerkutatási lehetőségeket rejtő és jelenleg kevésbé ismert terület a bennünk található, de szervezetünknek közvetlenül részét nem képező mikrobiom működésének gyógyszeres befolyásolása és ennek kihatása (például metabolikus) betegségeinkre.

Végezetül fontos megemlíteni, hogy a sejten belül a rövidebb-hosszabb élettartamú fehérje–fehérje kölcsönhatások által kialakuló komplex rendszerek jelenléte és szerkezete komoly befolyással van biológiai aktivitásukra. A fehérje–fehérje kölcsönhatások – biológiai szerepük egyre jobb megismerése révén – szintén a 21. század feltörekvő gyógyszerkutatási területei közé tartoznak.

Összefoglalás

Összegzésként megállapíthatjuk, hogy a magyarországi gyógyszerkutatás és -fejlesztés, évszázados hagyományaihoz híven, a 21. században tovább növelte sikerességét. A gyógyszeripari szereplők az ezredfordulón bekövetkezett jelentős szerkezeti változások ellenére is nemzetközi szintű eredményeket értek el mind az eredeti gyógyszerkutatás, mind pedig a generikus fejlesztés területén. A közfinanszírozású kutatóhelyek (egyetemek és kutatóintézetek) maguk is elindultak a gyógyszerkutatás útján, amelynek első eredményei már klinikai vizsgálati fázisba jutottak. A magyar kutatók a nemzetközi közösség részeként komoly lépéseket tettek az emberi szervezet komplex működésének molekuláris szintű megértése felé, és ez a növekvő megértés, valamint az egyetemi-kutatóintézeti háttérrel egyre intenzívebben igénybe vevő piaci szereplők együttműködése számos új, ígéretes és izgalmas lehetőséget rejt magában.

Irodalomjegyzék

- Antalóczy Katalin (2001). „Magyar gyógyszeripar – privatizáció után”. *Külgazdaság*, 45/2, 41–61.
- „Az Egis 110 millió dolláros jogdíjbevétele kap az USA-ból” (2016). *Innoportal.hu* (2016. nov. 15.). <https://innportal.hu/az-egis-110-millio-dollaros-jogdijbevetelt-kap-az-usa-bol>.
- Baumgärtel, Cristoph (2012). „Myths, Questions, Facts About Generic Drugs in the EU”. *Generics and Biosimilars Initiative Journal*, 1/1, 34–38. <https://doi.org/10.5639/gabij.2012.0101.009>.
- Fehérvári Anikó (2009). „A magyar gyógyszeripar fejlődése az 1920-as évektől”. *Iparjogvédelmi és Szerzői Jogi Szemle*, 114/1, 70–88.
- „Generic Drugs Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2025–2030)” (d. n.). *Mordorintelligence.com* (letöltés: 2025. febr. 3.). <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/generic-drugs-market>.
- Gyimesi, Máté et al. (2020). „Single Residue Variation in Skeletal Muscle Myosin Enables Direct and Selective Drug Targeting for Spasticity and Muscle Stiffness”. *Cell*, 183/2, 335–346, e13. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.08.050>.
- Horváth, Ádám et al. (2018). „Analgesic Effects of the Novel Semicarbazide-Sensitive Amine Oxidase Inhibitor SZV 1287 in Mouse Pain Models with Neuropathic Mechanisms: Involvement of Transient Receptor Potential Vanilloid 1 and Ankyrin 1 Receptors”. *Pharmacological Research*, 131, 231–243. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2018.02.006>.
- International Human Genome Sequencing Consortium (2001). „Initial Sequencing and Analysis of the Human Genome”. *Nature*, 409, 860–921. <https://doi.org/10.1038/35057062>.

- Issekutz Béla (1960). „A magyar gyógyszerkutatás története”. *A Magyar Tudományos Akadémia V. Biológiai és Orvosi Tudományok Osztályának Közleményei*, 11/1, 5–18.
- Khanna, Ish (2012). „Drug Discovery in Pharmaceutical Industry: Productivity Challenges and Trends”. *Drug Discovery Today*, 17/19–20, 1088–1102. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2012.05.007>.
- Kneller, Robert (2010). „The Importance of New Companies for Drug Discovery: Origins of a Decade of New Drugs”. *Nature Reviews Drug Discovery*, 9, 867–882. <https://doi.org/10.1038/nrd3251>.
- Kotschy, András et al. (2016). „The MCL1 Inhibitor S63845 Is Tolerable and Effective in Diverse Cancer Models”. *Nature*, 538, 477–482. <https://doi.org/10.1038/nature19830>.
- Lincker, Helene et al. (2014). „Regulatory Watch: Where Do New Medicines Originate from in the EU?” *Nature Reviews Drug Discovery*, 13, 92–93. <https://doi.org/10.1038/nrd4232>.
- Mikulic, Matej (2024). „Total Global Generic Drugs Market Forecast from 2023 to 2033”. *Statista* (2024. június 27.). <https://www.statista.com/statistics/1247092/total-generics-sales-value-worldwide/>.
- Mullard, Asher (2018). „2018 FDA Drug Approvals”. *Nature Reviews Drug Discovery*, 18, 85–89. <https://doi.org/10.1038/d41573-019-00014-x>.
- Oprea, Tudor I. et al. (2018). „Unexplored Therapeutic Opportunities in the Human Genome”. *Nature Reviews Drug Discovery*, 17, 317–332. <https://doi.org/10.1038/nrd.2018.14>.
- Patridge, Eric V. et al. (2015). „An Analysis of Original Research Contributions Toward FDA-Approved Drugs”. *Drug Discovery Today*, 20/10, 1182–1187. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2015.06.006>.
- „Sikeres a magyar favipiravir gyártásfejlesztés” (2021). *Index* (2021. márc. 10.). <https://index.hu/techtud/egeszseg/2021/03/10/indulasra-kesz-a-magyar-favipiravir-gyartas/>.
- Schuhmacher, Alexander – Gassmann, Oliver – Hinder, Markus (2016). „Changing R&D Models in Research-Based Pharmaceutical Companies”. *Journal of Translational Medicine*, 14, 105–115. <https://doi.org/10.1186/s12967-016-0838-4>.
- „What’s the Difference Between Brand-Name and Generic Prescription Drugs?” (2014). *Scientific American* (2014. dec. 13.). <https://www.scientificamerican.com/article/whats-the-difference-betw-2004-12-13/>.
- Wouters, Olivier J. – McKee, Martin – Luyten, Jeroen (2020). „Estimated Research and Development Investment Needed to Bring a New Medicine to Market, 2009–2018”. *Journal of the American Medical Association*, 323/9, 844–853. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.1166>.

A magyar kőolaj-feldolgozó ipari kutatás és fejlesztés 1960 után

Hungarian Petroleum Refining Industrial Research and Development after 1960

Hancsók Jenő¹ – Baladincz Jenő² – Börzsönyi Sándor³ – Geiger András⁴ –
Kristóf Tamás⁵ – Nagy Gábor⁶

¹ az MTA doktora, professor emeritus, Pannon Egyetem Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ MOL
Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék, Veszprém
hancsok.jeno@mk.uni-pannon.hu

² senior technológiai szakértő, MOL Nyrt., Százhalombatta

³ egyetemi doktor, ügyvezető igazgató, Oil Control Kft., Balatonalmádi

⁴ PhD, senior fejlesztési szakértő, MOL Nyrt., Százhalombatta

⁵ az MTA doktora, egyetemi tanár, Pannon Egyetem Természettudományi Központ
Korróziós Kutatócsoport Mérnöki Kar, Veszprém

⁶ egyetemi doktor, technológiafejlesztési és stratégiai szakértő, MOL Petrolkémia, Tiszaújváros

Összefoglalás

A magyar kőolaj-feldolgozó iparhoz kapcsolódó rendszeres hazai kutatások az 1900-as években kezdődtek el. Ez a tevékenység erősen fokozódott akkor, amikor a hazai kitermelésű kőolajok feldolgozása vált aktuálissá. A magyar történelem és politika eseményeitől is jelentős mértékben befolyásolt hatásokra kialakult kőolajiparunk, majd a MOL Rt. és ezt követően a MOL Nyrt. létrejöttével, egy új korszakba lépett. A bemutatott egyetemi, kutatóintézeti és ipari résztvevők fontosabb termék- és eljárásfejlesztési eredményei is hozzájárultak az 1991 előtti vállalatok, majd az integrált nemzetközi kőolajipari vállalat eredményes és sikeres működéséhez, jól szolgálva a fenntarthatóság megvalósítási feltételeinek teljesítését.

Abstract

Systematic domestic research into the Hungarian oil refining industry began in the early 1900s. This activity intensified significantly when the processing of domestically extracted crude oil became a key issue. Influenced by events in Hungarian history and politics, the country's petroleum industry entered a new era with the establishment of the MOL Group, followed by MOL Plc. The major product and process development achievements of the university, research institute, and industrial participants presented here have also contributed to the successful and efficient operation of pre-1991 companies, as well as the subsequent integrated international petroleum company. These achievements have served to meet the requirements for sustainability well.

Kulcsszavak: kőolaj, kőolaj-feldolgozás, termékfejlesztés, eljárásfejlesztés, ellátásbiztonság, fenntarthatóság

Keywords: crude oil, crude oil processing, product development, process development, security of supply, sustainability

Bevezetés

A kőolaj megfelelő, cseppfolyós részét (világítóolajat, petróleumot) már régóta (i. e. 220-tól, Kína) használták világítási célra (Nauwelaerts 1937). A petróleum szó értelmezése (petros [görög] = kő + oleum [latin] = olaj) már utal eredetére is: kő- vagy földrétegekből eredő származék. A kőolaj a világgazdaságban betöltött szerepe miatt a 19. század közepétől „cseppfolyós arany”, a hatalom egyik fő eszköze és szimbóluma volt. A kőolaj stratégiai erőforrás és nemzeti kincs.

Napjainkban a kőolaj nélküli életet nehéz elképzelni a Földön. Hogyan is üzemelne/működne a szárazföldi, a vízi és a légi szállítás és közlekedés? Az ezekhez szükséges hajtóanyagok (benzin, kerozin, dízelgázolaj) csak 50–60%-át teszik ki a kőolaj-felhasználásnak. A kőolajhiányt megszenvedné az építőipar (például bitumenek utakhoz, épületekhez stb.), a gyógyszergyártás, a kozmetikai ipar (például paraffin, vazelin), a gépgyártás (például kenőolajok, gépszírok), műanyaggyártás és sok esetben még az erőművek is.

A kőolaj a múltban és a jelenkorban is az egyik legérdekesebb és legértékesebb nyersanyag. 2023-ban is a legnagyobb részarányban (31,6%; 196 EJ; 4680 millió tonna kőolaj-egyenérték) felhasznált elsődleges energiahordozó volt (*Statistical Review of World Energy* 2024), és még legalább közel 60 évig biztosan rendelkezésre áll.

A magyar kőolajipar és ezen belül a kőolaj-feldolgozás kialakulásának és fejlődésének könnyebb követése és megértése feltételezi hazánk történelmének ismeretét is. Ennek birtokában és tükrében az 1. ábrán jól nyomon követhető a jelenlegi magyarországi MOL Nyrt. finomítói szerkezet létrejötte és a MOL Petrolkémia Zrt. kialakulása.

A Trianon utáni időszakban az Almásfüzitői Finomítóban üstdesztillációról folyamatos üzemű „toronydesztillációra” álltak át (120 000 tonna/év kapacitás), majd a SHELL 1930-ban 130 000 tonna/év kapacitású, akkor nagyon korszerű finomítót épített Csepelen. Az EUROGASCO (European Gas and Electric Company) és a MAORT (Magyar–Amerikai Olajipari Rt. 1938) létrejötte után a kőolaj-kitermelés további lendületet kapott. Az 1939. évi 114 000 tonnáról 842 000 tonnára nőtt 1943-ig, miközben a hazai üzem bővítésekkel és új üzemlétesítésekkel már a finomítói kapacitás is meghaladta a 800 000 tonnát.

A második világháború végére a kőolaj-feldolgozó kapacitások 80%-a működés-képtelenné vált. Az Iparügyi Minisztérium döntése értelmében megmaradt négy finomítóban (Pét, Szőny, Almásfüzitő, Csepel) új üzemek épültek. A sikeres új zalai fúrások hatására létesítették a Zalai Kőolajipari Vállalatot (1952) évi félmillió tonna nagylengyeli kőolaj feldolgozására.

A KGST-ben (Kölcsönös Gazdasági Segítség Tanácsa) hozott határozat értelmében a Szovjetunió megkezdte a kőolajszállítást az abban szűkölködő tagországok részére. Ez megalapozta a magyar kőolaj-feldolgozás fejlesztését, ugyanakkor – lényegében máig tartó – függőséget hozott létre. 1954-ben létrejött a Magyar Kőolaj Rt., majd 1960-ban az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt (OKGT). Ennek keretében

szénhidrogén-kutató, bányászati, szállító, finomítói, kiskereskedelmi és üzemanyag-értékesítő (Ásványolaj-Forgalmi Vállalat, ÁFOR) egységek működtek.

1961-ben kezdte meg Szőnyben termelését az első 1 millió tonna/év kapacitású atmoszférikus desztilláló üzem, majd (a magas oktánszámú benzinek előállítása céljából) a benzinreformáló, illetve (a jobb minőségű dízelgázolaj előállítása céljából) a gázolaj-kéntelenítő. 1960-ban alapították a Dunai Kőolajipari Vállalatot (DKV). A DKV kőolajigényét az időközben megépült Barátság kőolajvezeték biztosította. Az első 1 millió tonnás desztilláló üzem 1968-ban egy 2 millió tonnás létesítése követte.

A hatvanas évek végén jelentős olajkészletet találtak Szeged környékén (a nagy fehéráru-tartalmú, kis kéntartalmú, paraffinos olaj kiváló alapanyag kenőanyagok gyártásához). 1970-re készült el a Százhalombattára menő terméktávvezeték. A magyar kőolajipar legnagyobb feldolgozó kapacitása 14,5 millió tonna volt 1980-ban, a tényleges feldolgozás csúcsa (11,4 millió tonna) 1979-ben volt. A legnagyobb kőolaj-kitermelés 2,031 millió tonna volt 1980-ban. Jelenleg (2024) 6,7 millió tonnás a feldolgozás, amiből 1,01 millió tonna hazai kitermelésű nyersanyag.

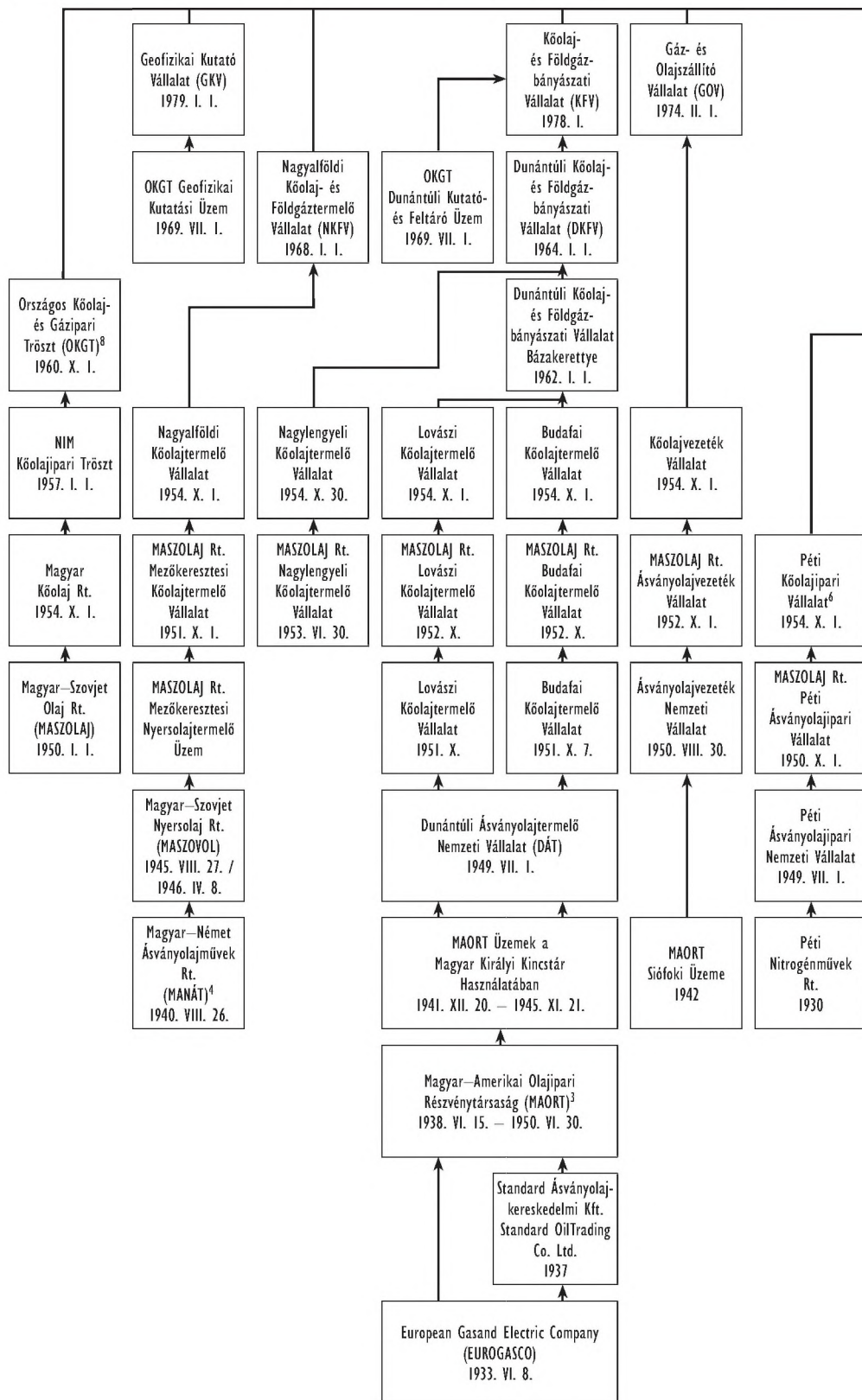
Az 1990-es évektől a világon a kormányok – országonként más okokból – szinte egy időben elkezdtek összevonni olajvállalataikat: energetikai óriásvállalatok jöttek létre. Ráadásul több nagy kőolajipari cég is csak papíron volt magánkézben, ténylegesen azonban állami irányítású volt. Időközben Magyarországon is megtörtént az OKGT „karcsúsítása” és profiltisztítása, továbbá a hasonló tevékenységű vállalatok összevonása. Az 1989-es rendszerváltás után hazánkban is megjelentek a nagy külföldi olajvállalatok, az OKGT-ből megalakult a MOL Rt., majd 1991-ben a MOL Nyrt.

A MOL Nyrt. történetében – Hernádi Zsolt elnök-vezérigazgató gondolatai alapján – a legfontosabb feladat a vállalat egyben tartása (elkerülve az esetleges külföldi „felvásárlókat” is) és saját stratégia kialakítása volt. Ehhez kellett megkeresni a megvalósítás lehetőségeit és eszközeit. A különböző vállalati kultúrák egységesítése (konszolidálása) és a központi irányítás kialakítása után a privatizáció természetesen új tulajdonosi szereplők megjelenésével járt, a vállalati irányítás a tőkepiac szabályai szerint működött. A regionális növekedés után sikerült felismerni olyan új területeket, ahol a MOL élen tudott járni a többi ágazati szereplőhöz képest közép-európai viszonylatban is. A MOL Nyrt. Közép-Európa meghatározó szereplőjévé vált (trendek, ütemek meghatározása). Mindig fontos cél volt és mára is az maradt az értékek (eszközpark, emberi tapasztalatok, tudásfenntartás és bővítés) megtartása. Meghatározó és döntő volt a fenntartható fejlődés ciklusokon keresztül történő átívelésének elfogadása (gazdasági és vezetői ciklusok hatásainak kiszűrése) (Peredi 2011).

A magyar kőolajipar történetéről kiváló összeállítások állnak rendelkezésre, például Nauwelaerts 1937; Adámy–Németh 1968; Szurovy 1993; Cseh 2000; Papp 2000; Sipos 2003. Ezekben további bőséges információt találhat az olvasó.

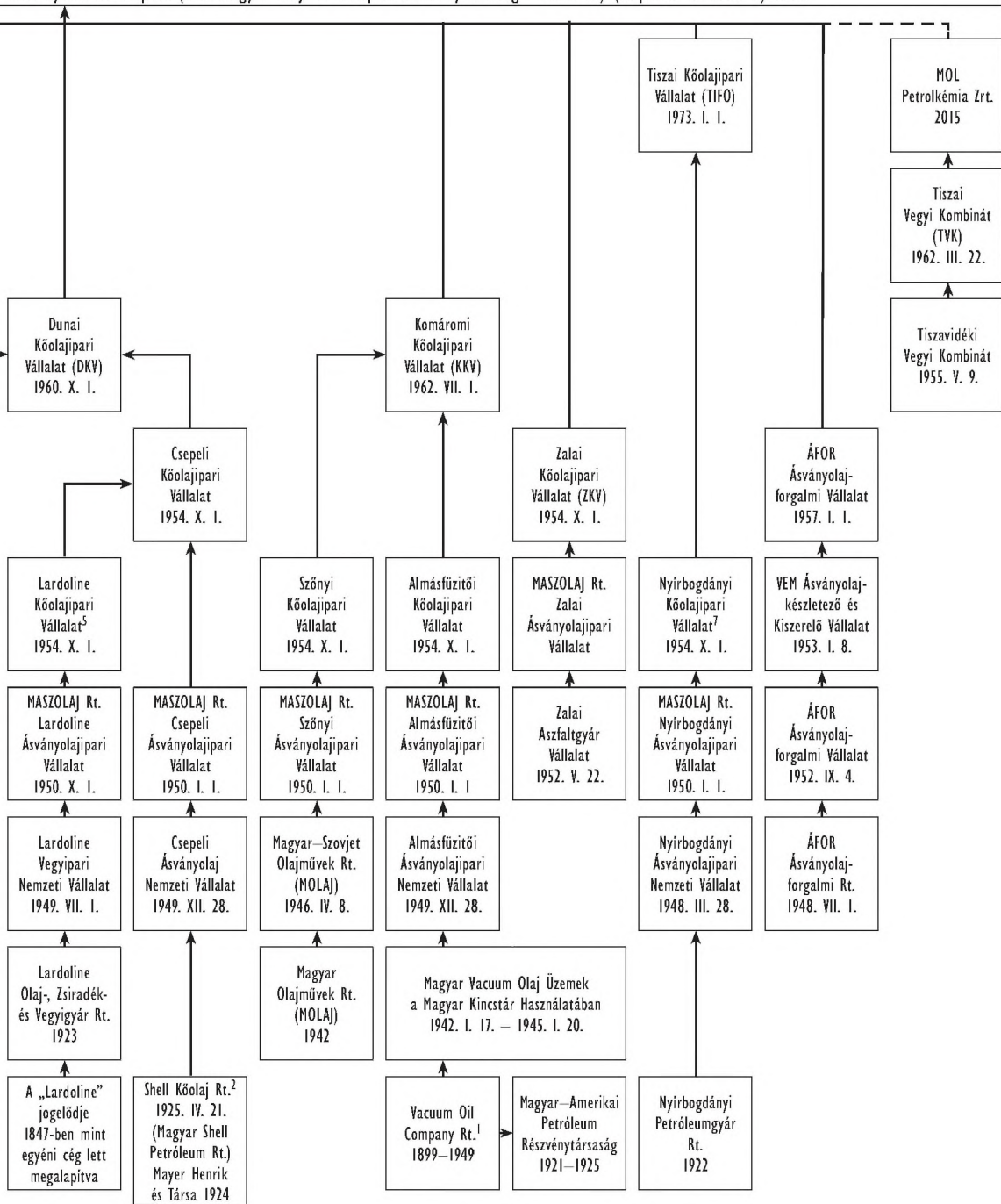
A következőkben röviden áttekintjük a kőolaj-feldolgozás általános jellemzőit, majd az utóbbi kb. 65 év legfontosabb hazai kutatási-fejlesztési és innovációs tevékenységének eredményeit.

A magyar kőolaj-feldolgozó ipar a MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyilvánosan Működő Részvénytársaság —



1. ábra. A magyar kőolaj-feldolgozó ipar

MOL NyRt./MOL-csoport (MOL Magyar Olaj- és Gázipari Részvénytársaság – MOL Rt.) (alapítva: 1991. X. 1.) része



¹ A Vacuum Oil Company Rt.-t a New York-i székhelyű Vacuum Oil Company alapította, a későbbiekben a SOCONY-Vacuum Oil Corp. leányvállalata volt.

² A Shell Kőolaj Rt.-t a holland N.V. de Bataafsche Petroleum Mij. s'Gravenhage és a brit Asiatic Petroleum Co. Ltd. Alapította, a Royal Dutch Shell csoport tagvállalata volt.

³ A MAORT alapítója és tulajdonosa a European Gas and Electric Company volt, amely cég részvényeinek többségét a Standard Oil Company of New Jersey birtokolta.

⁴ A MANÁT a német Wintershall AG leányvállalata volt.

⁵ A Lardoline Kőolajipari Vállalat 1963. június 30-án beolvadt a Csepeli Kőolajipari Vállalatba.

⁶ A Péti Kőolajipari Vállalat 1971. január 1-én a Dunai Kőolajipari Vállalatba lett integrálva.

⁷ A Nyírbogdányi Kőolajipari Vállalat 1976. január 1-én beolvadt a Tiszai Kőolajipari Vállalatba, működését 1983-ban szüntette be.

⁸ Az Országos Kőolaj- és Gázipari Trösztnek 1990-ben még a következő vállalatai voltak a MOL Rt.-t alapító tröszt és kilenc cége mellett: a Rotary Kft., a KV, az OLAJTERV, a KKV, az ANG, a BKG, a DKG, az SZTV, a DDGÁZ, a DÉGÁZ, az EGÁZ, a TIGÁZ, a KÖGÁZ és az SZKFI.

A kőolaj-feldolgozásról általában

A kőolajipar magába foglalja a kőolajok kutatását, kitermelését és szétosztásra való előkészítését (olykor a szállítást is) – „Upstream” (US) –, a közúti, vasúti, csővezetéki és/vagy vízi szállítást – „Midstream” (MS) –, valamint esetenként a kőolaj-finomítói tárolást, majd ezt követően a feldolgozást (sokszor beleértve a petrokkémiát is), a tárolást és a termékértékesítést – „Downstream” (DS). Bizonyos megfontolásokból olykor ide sorolják még a berendezésgyártókat, katalizátor- és vegyszer-szolgáltatókat, tanácsadó cégeket és a fogyasztói szolgáltatásokat is egyéb feladatot ellátókként nevezve.

A kőolaj-finomítóknál alapvetően a változó elem- és frakció-összetételű kőolajokból a közbenső és végtermékeket különböző feldolgozó és termékekeverő technológiák célirányos sorozatával (láncolatával) állítják elő. A kőolaj-finomítás a piaci igényeknek megfelelő termékszerkezet környezetbarát és gazdaságos előállítására (Srivastava–Hancsók 2014). Az egyes késztermékeket több finomítói anyagáram megfelelő arányú elegyítésével (keverésével) és szükség esetén kellő mértékű adalékolásával állítják elő. (Adalékok: olyan kis mennyiségben – általában mg/kg [ppm] – alkalmazott, főleg szintetikus anyagok, amelyeket a gyártott termékhez adva azok javítják annak minőségi jellemzőit, alkalmazási tulajdonságait, vagy a termék új tulajdonságát biztosítják.)

A hazai Dunai Finomító egy nagy komplexitású, monocruide (egyetlen kőolajminőség), hajtóanyag- és kenőanyag-finomító. Termékstruktúrája: 3 millió t/év dízelgázolaj, 1,5 millió t/év motorhajtó benzin, 1,0 millió t/év vegyipari benzin, 0,3 millió t/év bitumen, 0,25 millió t/év alapolaj és paraffin, valamint petrokkosz és speciális termékek.

A kőolaj-feldolgozó ipar fontosabb termékei

Az előzőekben nagyon röviden vázolt kőolaj-feldolgozás fontosabb termékei a következők:

- Energetikai termékek (energia-előállítás és -átadás): propán-bután (PB), LPG (liquefied petroleum gas, autógáz) (hőenergia, motorhajtó anyagok), motorbenzinek, repülőbenzinek, sugárhajtómű-üzemanyagok, dízelgázolajok, hajózási hajtóanyagok, háztartási tüzelőolajok, erőművi tüzelőolajok, fűtőolajok, petrokkosz stb.
- Kenőanyagok: kenőolajok, ipari olajok, fémmegmunkálási segédanyagok, konzisztens kenőanyagok (például: kenőzsírok) stb.
- Egyéb kőolajipari termékek: paraffinok, bitumenek, vegyipari alapanyagok (például: vegyipari benzin, gázolaj könnyűolefinek, mint például: etilén, propilén előállítására), kén, oldószerek, lehetőség: egyedi aromások (például: benzol, toluol, etil-benzol, xilolok), maleinsav-anhidrid stb.

- Petrolkémiai termékek: alapanyagok, kis molekulatömegű végtermékek (például: metilalkohol, ciklohexán, triklór-etilén, almasav stb.), monomerek (etilén, propilén stb.), intermedierek (maleinsavanhidrid, lineáris alkoholok stb.), polimerek (műanyagok, műszálak, elasztomerek, bevonatok, lakkok, festékek, ragasztók stb.), egyéb (oldószerek, műtrágyák, növényvédőszer stb.).

Ezek mennyisége és minősége alapvetően az alkalmazott eljárások megfelelő kiválasztásától és célirányosan kialakított sorrendjétől függ.

A magyarországi kőolaj-feldolgozás fontosabb kutatási-fejlesztési eredményei

A következőkben a magyar ásványfeldolgozás és érintőlegesen a petrolkémia legfontosabb kutatási-fejlesztési eredményeit és az ezekből fakadó innovációkat mutatjuk be kb. az 1960-as évektől kezdődően, a területi korlátoknak megfelelő mértékben; az általánosan jellemezhető eredmények és megállapítások után a főbb termékcsoportok szerinti tagolásban, amit a korrózióvédelem területével zárunk.

A tématerületen a magyar műszaki és tudományos (szellemi) élet már a kezdetekben is folyamatos támogatást biztosított a korszerű megoldások felismerésével és alkalmazásba vételével. Példaként külön kiemeljük a következő tudósok (akadémikusok) munkásságát:

Freund Mihály: a metán parciális oxidációjára és az oxo-szintézis kidolgozására irányuló eljárások világszínvonalú eredményei, BME, MÁFKI.

Varga József: nagy aszfalténtartalmú alapanyagok benzinné és gázolajjá történő hidrokrakkoló eljárásának és elméleti alapjának kidolgozása szulfidált katalizátorokon és kén-hidrogén jelenlétében. Ő kiváló szakemberekből álló magyar kémiai tudományos iskolát hozott létre (BME, VVE, NAKI). Ugyancsak ő tekinthető az ipari katalízis magyarországi atyjának és megalapítójának.

Oláh György: karbokationok kémiájának és alkalmazásának felismerése és kidolgozása; az izobután és olefinek szilárd katalizátoros alkilezési eljárásának felfedezője; munkásságát Nobel-díjjal ismerték el.

Rabó Gyula: fő érdeme a savas és stabil Y-zeolitok krakkolási, hidrokrakkolási folyamatokban történő rendkívül eredményes hasznosíthatóságának felismerése (NAKI).

Csicsery Zsigmond: részben hozzá fűződik az alakszelektív katalízis felismerése.

A kutató-fejlesztő és innovációs tevékenységet magyar egyetemeken (például Budapesti Műszaki Egyetem, Pannon Egyetem és jogelődei, Széchenyi István Egyetem, Miskolci Egyetem, Nyíregyházi Egyetem, Szegedi Tudományegyetem, Debreceni Egyetem),

kutatóintézetekben (például Nagynyomású Kutatóintézet: NAKI, Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet: SZIKKTI, Bay Zoltán Kutatóintézet, Magyar Tudományos Akadémia: MTA kutatóintézetei, kutatóhelyei, a mai Magyar Kutatási Hálózat: HUN-REN), továbbá ipari kutatóhelyeken (például Szénhidrogénipari Kutató-Fejlesztő Intézet: SZKFI), és természetesen az érintett vállalatok kisebb specializált kutatóegységeiben, laboratóriumaiban végezték.

Az előzőekben már utaltunk rá, hogy a kőolaj-feldolgozás termékeinek több mint felét (például motorhajtóanyagok, kenőanyagok) a mobilitás megvalósítása során használják. A szárazföldi, a légi és a vízi közlekedési/szállítási eszközök zavartalan és biztonságos üzemeltetéséhez azonban több más, a kőolaj-feldolgozásból származó termékre is szükség van. Ilyenek például magának a gépjárműnek, a szállítóeszköznek a gyártásához szükséges szintetikus szerkezeti anyagok (például: polimerek), az úthálózat építésekor és a kiszolgáló épületek létesítésekor felhasznált különböző bitumenek.

Természetesen az említett és más energetikai termékeken (például tüzelőolaj), valamint a további ágazatok alapanyagain kívül még nagyon sok, a fenntarthatóság biztosításához napjainkban elengedhetetlen kőolajeredetű terméket használnak. Gondoljunk csak a műanyagok sokféleségére, a mosószerekre, a tisztálkodó- és tisztítószerekre, a kozmetikai és gyógyászati anyagokra stb. (Ezek azonban főleg már származtatott petrokémiai termékek, illetőleg a szerves vegyipar végtermékei, amelyeknek kutatása-fejlesztése nem tárgya ezen közleménynek.)

Izoparaffin szénhidrogének jelentősége a kőolaj-feldolgozó ipar termékeiben

A Pannon Egyetemen (PE) és jogelődjeinél az 1970-es évektől folyó kutatási-fejlesztési tevékenység eredményeként már több mint negyven évvel ezelőtt rendszerszemléletű felismeréssel megállapították, és azóta is folyamatosan elért további eredményeikkel és azok ipari alkalmazásával igazolták is, hogy a különböző belső égésű motorok (például: Otto-, dízelmotor, repülőgép-turbinák) analitikai és alkalmazástechnikai szempontból legjobb minőségű és leghatékonyabb hajtóanyagainak (például: motorbenzin, dízelgázolaj, sugárhajtómű-üzemanyag) és az energiatakarékos kenést (hajtóanyag-takarékos meghajtást), magas teljesítményszintet biztosító kenőolajok alapolajainak (például motorolajok részaránya ezen késztermékekben legalább 80%) és néhány ipari felhasználású alapolajnak meghatározó komponensei az izoparaffinok, függetlenül attól, hogy ezeket fosszilis vagy alternatív nyersanyagokból (például bio-/hulladékeredetűekből) állítják elő. Ezek a hajtóanyagok nagy energiataartalmúak, kedvező folyási tulajdonságúak alacsony hőmérsékleten és hidrogéntartalmuk a szénhidrogének közül a legnagyobb, így viszonylag könnyen és „tisztán” égnek, kevésbé terhelik a környezetet, mint a más szerkezetű hajtóanyag-komponensek.

Az izoparaffin alapolajok viszkozitásiindexe nagy (≥ 135 – 150), dermedéspontjuk pedig alacsony (≤ -20 °C). Természetesen a különböző felhasználási területekhez

célirányosan illesztett szénatomszámú és meghatározott elágazottsági fokú izoparaffinok elegyének alkalmazása szükséges (eltérések az elágazások hosszúságában, szerkezetében, helyében, mennyiségében). Ez nemzetközi szinten is kiemelkedő és elismerten új, rendszerszemléletű, tudományosan alátámasztott felismerés és megállapítás, amit a korábbi és jelenlegi hazai (együttműködés a MOL Nyrt.-vel, MTA TTK-val) (lásd Hancsók et al. 2000; Hancsók et al. 2007a; Hancsók–Magyar–Holló 2007; Krár et al. 2010; Hancsók et al. 2011; Pölczmann et al. 2011; Kovács et al. 2011; Hancsók et al. 2017; Tomasek–Varga–Hancsók 2020; Kasza–Kalló–Hancsók 2014) és nemzetközi kutatási-fejlesztési, továbbá felhasználási/alkalmazási eredmények igazoltak és folyamatosan igazolnak is. Például a fenntartható repülési üzemanyagok (SAF) jelenlegi és jövőbeli meghatározó részarányú komponensei a szintetikus izoparaffinok elegyei, amelyeket már szabványban (például USA: ASTM D7566-23b) is előírnak.

Eredmények: új vagy továbbfejlesztett eljárások, új összetételű termékek (szabadalmak: alapolajok: HU 225912/2001.; izoparaffin-középpárlatok: HU 231091/2009.; „izobenzin”: EP2305778/2016.; izoparaffin-JET/dízelgázolaj: P2200354/2022. és PCT/HU2023/050052/2023.), >500 cikk és előadás, kb. 1800 független hivatkozás, Prima-díj, MTA Szabadalmi Nívódíj, több milliárdos egyetemi árbevétel iparvállalatoktól és pályázatokból, hozzájárulás a nemzetgazdaság költségvetési árbevételéhez (csökkentett önköltségű termékek), például motorhajtóanyagok jövedéki adója jelenleg kb. 600 milliárd forint/év stb. Természetesen az izoparaffin-tartalmú termékek jelentőségét támasztják alá a jó folyási tulajdonságú dízelgázolajok kifejlesztésére végzett kutatások eredményei (MTA KKKI, MOL, SZIKKI) is, amelyeket a későbbiekben külön is tárgyaljuk nagy jelentősége miatt.

A magyarországi motorhajtóanyagok és kenőanyagok kutatása-fejlesztése a kezdetektől a gépjárműgyártók (főleg a motorgyártók), minőségi előírásainak, a környezetvédelmi szabályozásoknak és a fogyasztók igényeinek való megfelelést szolgálta. A belső égésű motorok folyamatos korszerűsítése (fejlesztése) egyre jobb minőségű hajtóanyagokat igényelt. Kezdetben ez főleg az illékonyásra (forrásponthatárookra) vonatkozott, majd a teljesítményjellemzőkre is. A *motorbenzinek* oktánszámának növelésére 1922-től, de elterjedten az 1940-es évektől az ólom-tetra-etil adalékot önmagában, majd ezt az ólom-tetra-metillel együtt is az 1960-as évektől kezdve használták. Az ólomtartalmú vegyületek kiváló kenőhatásúak is, különösen a szelepeknél.

Az 1960-as évektől egyre fokozódtak a minőségi követelmények a teljesítmény, az egészség- és környezetvédelem szempontjából. Motorbenzinek esetében az egyik legérzékenyebb minőségsszabályozás az ólomtartalmú adalékok alkalmazásának betiltása volt. Ennek fő oka a környezetbe kerülő ólom erős egészségkárosító és egyéb szennyező hatása, az égéskor az ólomból illékony ólom-halogenid keletkezését elősegítő halogéntartalmú vegyületek egy részéből keletkező sósav mérgező és korrózív tulajdonsága, továbbá az utóátalakító katalizátorok mérgezése volt. Mivel az ólomadalékok a legnagyobb hatékonyságú oktánszámnövelők voltak (és máig azok maradtak), alkalmazásuk megszűnése miatti oktánszámcsökkenést kezdetben főleg

aromásokkal, majd oxigéntartalmú vegyületekkel és később főleg izoparaffinokkal kompenzálták.

Ezt az egész folyamatot úgy kellett megvalósítani, hogy az oktánszámot a kb. 80 kezdeti értékről több lépésben a jelenlegi 95 és 98 egységre kellett növelni, nem is szólva a prémium benzinek 98+ oktánszámáról. Ezenkívül további nehézséget jelentett, hogy – főleg környezetvédelmi okok miatt – a nagy oktánszámú komponensek közül a benzolt 1,0 térfogat%-ra (1999-től), az összes aromástartalmat $\leq 35,0$ térfogat%-ra, az olefintartalmat pedig $\leq 18,0$ térfogat%-ra kellett csökkenteni.

Természetesen csak ezen egy motorbenzin-tulajdonság biztosítására több nagyon nagy beruházásigényű üzemet kellett létesíteni, illetőleg a korábbiakat korszerűsíteni, például párlat fulidkatalitikus krakkoló (FCC), könnyűbenzin-izomerizáló üzem, folyamatos katalizátorregenerálással működő reformáló üzem utóhidrogénezővel, termékredesztilláció, HF alkilező üzem, MTBE-, ETBE-előállító üzemek. Magyarországon 1999-től az ólmozott benzinek forgalmazásának megszűnésével az ólomkibocsátás kb. 850 tonna/év értékkel csökkent.

Természetesen a károsanyag-kibocsátás csökkentésére irányuló törekvéseknek megfelelően, beleértve az utóátalakító katalizátorok védelmét is, a motorhajtóanyagok kéntartalmát is fokozatosan csökkenteni kellett: motorbenzinek esetében ≤ 2000 mg/kg (1993 előtt) értékről ≤ 500 mg/kg-ra (1993. 01. 01.), majd ≤ 150 mg/kg-ra (2000. 01. 01.), ezt követően pedig ≤ 10 mg/kg-ra; dízelgázolajok esetében 1993-tól ≤ 5000 mg/kg-ról ≤ 2000 mg/kg-ra, 1997-től ≤ 500 mg/kg-ra, 2000-től ≤ 350 mg/kg-ra, 2005. 01. 01-től pedig ≤ 10 mg/kg-ra. E minőségi követelmények megvalósításához szintén nagy tőkeigényű beruházásokra volt szükség.

A dízelgázolajok egyik nagyon kritikus jellemzője a folyási (áramlási) képesség alacsony hőmérsékleten. E tulajdonság minősítő értékeit égvőnként határozzák meg, és ehhez kell az adott országban forgalmazott dízelgázolajok például zavarosodás-, dermedéspontját illeszteni megfelelő átalakító eljárások és adalékolás segítségével.

A motorhajtóanyagoknak az előzőekben a teljesség igénye nélkül vázolt minőségfejlesztési folyamatában a magyar kutatás-fejlesztés eredményei is több vonatkozásban fontos szerepet játszottak, illetőleg hozzájárultak a vállalatok új és korszerűsítő beruházásainak sikerességéhez. A következőkben néhány konkrét példát ismertetünk.

FCC-benzinek oktánszámának és a könnyűolefin hozamának növelésére szolgáló katalizátoradalék 15% ZSM-5 zeolitot tartalmaz egy aktív (MAG-O márkajelű) mátrixban (HU 213644/1995.), amelyet a MOL Rt. Dunai Finomítójának követelményei szerint fejlesztettek ki. MOL Rt., MTA-TTK a MAG-O katalizátor esetén is az egyik fő követelmény, hogy az ne váljon el a fluidágyban a fő katalizátortól, hanem egyenletes eloszlásban legyen jelen. Ez tovább krakkolja és izomerizálja a kis oktánszámú komponenseket, amelyek elsődlegesen az FCC katalizátoron keletkeznek. Ennek hatására nő az FCC benzinek oktánszáma és a C3-C4 olefinek mennyisége. Az oktánszámnövekedés mértéke 2,1 egység, a C3 olefineké 3,5%; a C4 olefineké 2,2%; míg ezen belül az értékes izobutiléné 1,1%. Tehát a MAG-O katalizátoradalék különösen alkalmas az értékes izobutilén viszonylag nagy hozammal történő előállítására.

A BME kutatói az FCC üzem termékeinek szétválasztásához a hőszivattyús rendszer működtethetőségével kapcsolatban megállapították az optimálisnak tekinthető struktúrát (Fonyó–Mizsey 1994).

A motorbenzinek és dízelgázolajok kéntartalmának több lépésben történő csökkentési folyamatában a megfelelő aktivitású és hosszú élettartamú katalizátorok kiválasztására különböző szénhidrogén-összetételű és kéntartalmú alapanyagokkal nagyszámú, folyamatos üzemmódban végzett nagylaboratóriumi kísérletek eredményei alapvetően hozzájárultak a nagy hatékonyságú katalizátor-rendszerek kiválasztásához (VE/PE, MOL). Ugyancsak az említett kísérleti metodikával sikerült olyan könnyűbenzin-izomerizáló katalizátort kiválasztani, amely alkalmas volt a korábbi magas hőmérsékletű izomerizáló katalizátorhoz viszonyítva 120–130 °C-kal alacsonyabb hőmérsékleten nagyobb oktánszámú ($\Delta 5-8$ egység) termékelegyet megnövelt (kb. 2–3%) hozammal előállítani. Természetesen ezt a katalizátort az iparban is az alkalmazásba vették (MOL, VE/PE).

Ipari benzinreformáló katalizátorok laboratóriumi előszelektáló vizsgálatának eredményei (DKV/MOL, BME) is hozzájárultak a nagy oktánszámú és viszonylag környezetbarát keverőkomponensek előállítására alkalmas katalitikus rendszerek kiválasztásához. Meghatározták a képződő C9-C10 alkil-benzolok képződésének kedvező körülményeit (Szabó–Széchy–Isaák 1980).

A benzoltartalom-csökkentés hatására kialakult oktánszámhiány ellensúlyozására alkalmas az úgynevezett benzoltelítő izomerizálás egy katalitikus lépésben. A legfeljebb 6,0 térfogat% benzoltartalmú könnyűbenzin hidrogénezését és vázizomerizációját a szokásosnál alacsonyabb reaktorbelépő hőmérsékleten lehet megvalósítani (energiahatékonyság, kisebb károsanyag-kibocsátás) (VE/PE, MOL) (Hancsók et al. 2007b). A nagy hozamú termékelegy (kb. 97–98%) oktánszáma 25–30 egységgel nagyobb az alapanyagénál.

Kísérőtermékként keletkező, biológiai eredetű könnyűbenzinek oktánszámának növelésére már meglévő izomerizáló üzemben való minőségjavítási lehetőséget ismertek fel és javasoltak (PE, MOL) (Hancsók–Kasza–Visenyei 2020).

A motorbenzinek aromástartalmának benzol- és összes aromás-, valamint olefintartalmának csökkentése miatt kialakult oktánszámhiány kompenzálására metil-tercier-butil-éter (MTBE) üzem létesítésének előkészítése során a Snamprogetti SpA (Milano, Olaszország) cég a Tiszai Kőolajipari Vállalat szakembereinek bevonásával olyan MTBE előállító eljárást dolgozott ki, amelyben az éter szintézisét a pirolízis C4-frakciójából a butadién kinyerése előtt valósítják meg. Ez jelentős energiamegtakarítást és beruházási költségcsökkentést jelent az extraháló egység alapanyagának nagyobb butadiéntartalma miatt (Ancillotti et al. 1987).

A nagy energiataartalmú és környezetbarát motorbenzinek az utóbbi körülbelül harminc évben egyre nagyobb részarányban tartalmazznak tisztító és tisztán tartó (detergens-diszpergens) adalékokat is, amelyek számos alkalmazási előnyt biztosítanak. Egy ilyen részkompozíciót fejlesztettek ki a PE, MOL-LUB, MOL Nyrt. munkatársai egy neves adalékgyártó céggel közösen. A poliolefin-amint és a poliizobutilén-

bisz-szukcinimidet tartalmazó adalékelegy előnyös alkalmazhatóságát több szigorú járműfékpad vizsgálattal is igazolták (HU 167827/1974.; HU 197936/1987.).

Magyarországon ugyanúgy, mint a világ más részein, dízelmotorok hajtására a legnagyobb mennyiségben felhasznált motorhajtóanyagok a kőolaj-eredetű *dízelgázolajok*. Legfontosabb tulajdonság a nagy energiasűrűség és fajlagos energiatartalom, a nagyon kis kéntartalom (<10 mg/kg), az alacsony aromástartalom (különösen a többgyűrűs), továbbá téli időszakban kulcsfontosságú a kedvező hidegfolyási tulajdonság (például hidegszűrhetőségi határhőmérséklet, CFPP) stb.

A MOL Nyrt. és jogelődei nagy hangsúlyt fektettek a nemzetközileg elvárt kéntartalom biztosítására a hazai termékekben. Ennek megfelelően a hidrogénező katalitikus kéntelenítő üzemeket folyamatosan korszerűsítették, és egyre aktívabb és hosszabb élettartamú katalizátorokat alkalmaztak, figyelembe véve a nagylaboratóriumi kísérletek eredményeit is (MOL, VE/PE). Ennek eredményeképpen a dízelgázolajok kéntartalmát több lépésben folyamatosan csökkentették ≤ 10 mg/kg-ra (2005. 01. 05-től). (Elismerések: 1999; VIII. Magyar Innovációs Nagydíj; Gazdasági Minisztérium Innovációs Díja és Környezetvédelmi Minisztérium Innovációs Díja, MOL Rt.; „Környezetbarát motorhajtóanyagok előállítása” [benzolmentes, könnyű izoparaffinelegy előállítása; kénkinyerés hatékonyságnövelése kb. 1000 tonna/év értékkel] [alkotórész: Veszprémi Egyetem].)

Az alkalmazott katalitikus rendszerekben a termékek kéntartalmának csökkenésével együtt kisebb azok aromástartalma is. Így az ezekből kevert dízelgázolajok aromástartalma fokozatosan csökkent. Az EU szabványban előírt legfeljebb 8,0 tömeg% többgyűrűs aromástartalom értékénél lényegesen kisebb a MOL Nyrt. által jelenleg kereskedelmi forgalomba hozott terméké.

A hidegszűrhetőségi határhőmérséklet mérsékelt égővre vonatkozó téli előírásokat az orosz és a magyar kőolajokból előállított gázolajokkal csak jelentős, folyamatos műszaki fejlesztésekkel tudták kielégíteni. Az 1980-as évektől kezdődően egészen 2004-ig jelentős kutatási-fejlesztési tevékenység eredményeként az MTA Központi Kémiai Kutatóintézetének Szilikátszerkezeti Csoportja (alapkutatás: katalizátorhatóanyag-fejlesztés; Ni/speciális ZSM-5 típusú zeolit, szerkezetirányító molekula: n-propilamin; 20-50 Si/Al molarányú ZSM-5 zeolit, optimalizált savasság, nagy alakszelektivitás), a MOL Rt./Magyar Szénhidrogénipari Kutató-Fejlesztő Intézet, Százhalombatta (tevékenységek: a hatóanyag katalitikus tesztelése és előállítása ipari léptékben; zeolitkomponens és a magadiit töltőanyag gyártása hidrotermális eljárással, szerkezetirányító vegyület eltávolítása, nikkellioncsere) és a Szilikátipari Kutatóközponti Kutató és Tervező Intézet (katalizátorformázás) az együttműködés keretében kifejlesztett egy új összetételű hidrogénező paraffinátalakító (hidrogénező „paraffinmentesítő”) katalizátort. Ez alkalmas volt a DKV magas dermedéspontú paraffinokat tartalmazó gázolajpárlatainak szelektív hidrokrakkolására és hidroizomerizálására.

A célirányosan kiválasztott alapanyagelegyből előállított termékáramot a nagy kéntartalmú gázolajkomponensekkel elegyítve egy nagymértékű kéntelenítésre alkalmas reaktorban a mindenkori szabványos követelményeknek megfelelő kéntartalmú

és a hidegszűrhetőségi határhőmérsékletet is részben kielégítő (adalékolással pedig a szabványok előírásainak megfelelő) gázolajokká alakították át. A katalizátor előnyei közé tartozott a kénnel szembeni ellenálló képesség és a hosszú élettartam.

A kutató-fejlesztő konzorcium 2004-ig elérte, hogy a zeolitmátrix szerkezetének változtatásával a Ni-tartalmú kétfunkciós zeolit katalizátorok alkán krakkoló/izomerizáló szelektivitását tervezhető módon lehessen módosítani.

A hidegszűrhetőségi határhőmérséklet mérsékelt égővre vonatkozó téli, legfeljebb $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os követelményének szintén megfelelnek a jelenlegi kereskedelmi dízelgázolaj-termékek, sőt a MOL Nyrt. termékpalettáján arktikus minőségű (CFPP: $\leq -26\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól $\leq -44\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig) gázolajtermékek is megtalálhatóak.

Az említett kutató-fejlesztő és innovációs tevékenység kivételes volt abban a tekintetben, hogy a katalizátor fejlesztése, az üzemi technológia kivitelezése hazai alap- és alkalmazott kutatáson, katalizátorgyártáson és technológiai tervezésen alapult. A szabadalmaztatott kéntűrő és nagy stabilitású katalizátor (élettartam kb. három év) és eljárás (HU 209141B/1991.; HU 213959B/1991.; HU 217643B/1996.) kiemelkedő jelentőségű volt vállalati és nemzetgazdasági szinten is. A hidrokrakkoló (hydrodewaxing, HDW) üzem első változata 350 000 t/év kapacitású volt, amit a későbbiekben az igényeknek megfelelően változtattak.

A Tiszai Finomítóban a gázolajhozam és minőség növelésére kifejlesztettek egy eljárást vákuumdesztillációs párlatok kisnyomású (enyhe) hidrokrakkolására (50 bar, $380\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,5\text{--}1,5\text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$ folyadékterhelés, $400\text{--}1500\text{ Nm}^3/\text{m}^3\text{ H}_2$ /alapanyag arány), amit a meglévő gázolaj-kéntelenítő üzemükben alkalmaztak (HU 185129/1981.; KKV, TKV). A gázolajtermék kéntartalma folyamatosan megfelelt a szigorodó minőségi előírásoknak, amit a katalitikusrendszer szükség szerinti változtatásával értek el.

A MOL Nyrt. hazai tudásbázisra (BME, Nyíregyházi Főiskola: motorkísérletek, PE: katalitikus kísérletek; nagy mennyiségű „XXL Diesel alapgázolaj” előállítására motorkísérletekhez) is alapozva, a nagy nemzetközi adalékgyártók speciális műszaki szakértelmére és együttműködésére támaszkodva pedig kifejlesztett egy speciális összetételű XXL Diesel üzemanyagot. A nagyobb sűrűségű és kiváló sűrűlódáscsökkentő hatású termék felhasználása elsősorban a fuvarozók és a mezőgazdaságban szereplő vállalkozások számára igazoltan 2–4%-kal kevesebb üzemanyag-fogyasztást és ezáltal csökkentett szén-dioxid-emissziót garantál a hagyományos gázolajokhoz viszonyítva (a CO_2 megtakarítás 2017-ben 4500 tonna volt). Ezenkívül jelentős az üzemanyag-megtakarításból származó költségcsökkentés is (kb. 2,0 Ft/liter). Ugyanakkor jelentős volt a MOL Nyrt. árbevétele és nyeresége is (Elismerés: „XXL Diesel – speciális, csökkentett emissziójú üzemanyag nehéz gépjárművek számára”, XXVI. Magyar Innovációs Nagydíj Pályázat, 2018).

A teljes életciklus alatt kisebb károsanyag-kibocsátású és jobb minőségű (molekulaszerkezeteiben nagy hidrogéntartalmú) dízelgázolajok előállítására a MOL Nyrt., a Pannon Egyetem és az MTA TTK bioparaffinok előállítására szisztematikus kutató-fejlesztő tevékenységet végzett és végez jelenleg is. Ennek eredményeképpen a természetes/hulladék zsírsavakból/zsírsavszármazékokból a kétlépéses, új katalitikus

rendszereket alkalmazó eljárásban új összetételű bioparaffin (főleg izoparaffin >85%) elegyeket lehet előállítani. Ezek cetánszáma >85–90, hidegszűrhetőségi határhőmérséklete ≤ -20 és -30 °C (szabadalmak: EP2305778/2010/2016. [biológiai eredetű izobenzin és előállítási eljárás]; HU 231091/2009.; EP2639286/2010.) (Hancsók et al. 2017; Hancsók et al. 2007a; Kasza–Kalló–Hancsók 2014).

Ezen és további közös nagylaboratóriumi kutatási eredmények alapján a MOL Nyrt. és a PE új eljárást fejlesztett ki bioparaffin-tartalmú dízelgázolajok előállítására finomítatlan gázolajfrakció(k) és természetes/hulladék zsírsavak együttes katalitikus átalakítására (co-processing) is.

A Dunai Finomító célirányosan átalakított a 2,2 millió tonna/év kapacitású (stratégiai jelentőségű) gázolaj-kéntelenítő üzemében előállított, nagy hozzáadott értékű (jövedéki adó alkalmazását is lehetővé tevő), a teljes életciklus alatt csökkentett károsanyag-kibocsátást eredményező bioparaffin-tartalmú dízelgázolaj felhasználásával kb. 200 000 tonna/év CO₂-kibocsátás megtakarítást értek el (Eredmény: MOL NyRt.; XXIX. Magyar Innovációs Nagydíj Pályázat „Co-Processing – Biológiai eredetű és fosszilis alapanyagok együttes átalakítása gázolajokká”; a PE kutatást kezdeményező, azt megalapozó és jelenleg is folytató alkotó résztvevő) (Környezetvédelmi Innovációs Díj, 2020/2021).

A Pannon Egyetem és az MTA TTK AKI (ma HUN-REN) kutatói új és nagy aktivitású katalitikus rendszert ismertek fel. Az ennek alkalmazására kidolgozott eljárás alkalmas nagy hidrogéntartalmú és kiváló alkalmazási tulajdonságú *sugárhajtómű-üzemanyagok és dízelgázolajok* rugalmas hozamú előállítására (P2200354/2022. és PCT/HU2023/050052/2023.).

Ugyancsak reményteljes és bevezetésre váró K+F eredmények vannak a *sugárhajtómű-üzemanyagoknak* hulladék polipropilén és/vagy polietilén termikus krakkolásakor keletkező, megfelelő forrásponthatárú frakciójának és/vagy természetes/hulladék zsírsavak/zsírsav származékok önmagukban vagy finomítatlan kőolajeredetű petróleumfrakciókkal való együttes katalitikus minőségjavítására vonatkozóan (PE). A javasolt katalitikus rendszereket alkalmazó eljárások termékei kielégítik az érvényes szabványok valamennyi előírásait (Eller–Varga–Hancsók 2016; Tomasek–Varga–Hancsók 2020).

A dízelgázolajok korszerű adalékai közül nagy jelentőségűek a detergens-diszpergens adalékok, amelyek felületvédelmet, diszpergens/stabilizáló, detergens/tisztító, továbbá semlegesítő és oldó hatást fejtenek ki a teljes felhasználási folyamat (tartálytól az égéstartól bezárólag) során. A VE/PE és a KKV/MOL-LUB Kft. ezen feladatok ellátására alkalmas fémmentes, kis átlagos molekulatömegű (≤ 3000), polibutilén-szukcinimid típusú adalékokat fejlesztettek ki. A KKV/MOL-LUB Kft. termékeit hosszú távon alkalmazták, és jelentős exporttermék is volt (HU 167827/1974.; HU 197936/1987.; HU 206390/1991.).

A *kenőanyagok* (például kenőolajok, ipari olajok, konzisztens kenőanyagok mint kenőzsírok) hazai kutatásának-fejlesztésének és előállításának fő célja a múltban és jelenleg is Magyarország gépjármű- és erőgépparkjának, ipari berendezéseinek stb.

megfelelő/kiváló kenéstechnikai tulajdonságú és környezetbarát kenőanyagokkal való ellátása. Lehetőség szerint magyar alapanyagokból kiinduló termék-előállítás, alapolajok, adalékok, segédanyagok felhasználásával. Kiemelt esetekben egyedi, originális szerkezetű termékek felismerése, léptéknövelt szintézise és előállítása, ipari eljárás kifejlesztése és alkalmazásba vétele, majd a gyártás időszakos ellenőrzése a felmerülő gyártási problémák megoldása, szükség esetén technológiai módosítások kidolgozása és bevezetése. Az alapanyag- és energiatakarékos, gazdaságos és környezetkímélő előállítási eljárások előnyeik kívül nagyon fontos cél volt a kenőanyagok élettartamának növelése és ezáltal a hulladékok keletkezési mértékének csökkentése.

A *kenőolajok* alapvetően alapolajokból és adalékokból állnak. A kenőolajok fejlesztése a gépjárműállomány és általában a gépgyártás folyamatos korszerűsödésével egyre gyorsabbá vált a felhasználás minden területén. Ennek megfelelően több lépésben fejlesztették az alapolajok és a különböző adalékok minőségét is. Az alapolajok fejlesztése területén nagy előrelépést jelentett az egyre korszerűbb oldószeres finomítási (poláris vegyületek, például aromások, heterotartalmú vegyületek mennyiségének csökkentése) és paraffinmentesítési (magas dermedéspontú paraffinok eltávolítása) eljárások kidolgozása és alkalmazása. Ezeket követte az alapolajok katalitikus hidrogénező technológiákkal való előállítása/befejező finomítása. Valójában nagy áttörést a hidrokrakkolással és/vagy hidroizomerizálással előállított alapolajok megjelenése hozott. Részben ezek a fejlesztések tették lehetővé például a közlekedési kenőolajok esetében a kis viszkozitást, de nagy viszkozitásiindexű (nagy izoparaffintartalmú), jó kenőképességű, hajtóanyag-/energiatakarékos kenőolajok gyártását. Természetesen mindezekhez szükséges volt a különböző funkciós hatású adalékok egyre hatékonyabb változatainak felismerésére és gazdaságos szintézisére. Ezek néhány főbb eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze.

A közlekedési kenőolajok területén hazánkban a *korszerű alapolajok előállítására* végzett kutatások eredményeképpen szelektív hidroizomerizáló katalizátort (SAPO-11) és annak előállítására, valamint felhasználására szolgáló eljárást fejlesztettek ki (HU 225912/2000.; MOL Rt.; MTA; VE). A nagy izoparaffintartalmú (>75–80%), magas viszkozitásiindexű (130–145) és alacsony dermedéspontú (<–20 °C) alapolajtermékek – többek között – alkalmasak kiváló minőségű, hajtóanyag-/energiatakarékos motorolajok előállítására. Az eljárásban keletkező dízelgázolaj kísérőtermék (kb. 35–50%) nagy cetánszámú (>60) és jó folyási tulajdonságú alacsony hőmérsékleten.

A többfokozatú (multigrade; „téli-nyári”) motorolajok iránti igények kielégítésének egyik alapvető feltétele volt például a korszerű, reológiai tulajdonságokat javító adalékok kifejlesztése és felhasználása. Kenőolajok (például motorolajok) viszkozitásmódosító és viszkozitásiindex-növelő, továbbá dermedéspont-csökkentő, adott esetben diszpergens kiegészítő hatású adaléksalád és előállítási eljárásaik kifejlesztése tématerületen új összetételű polialkil-metakrilát (PAM) típusú adalékok szintézisére végzett termék- és eljárásfejlesztés (Veszprémi Vegyipari Egyetem, VVE; Nitrokémia Ipartelepek; Komáromi Kőolajipari Vállalat) eredményeképpen iparjogvédelemmel

(HU 162435/1970.; HU 162603/1970.; HU 177466/1978.) is rendelkező nagy hő- és mechanikai stabilitású, kenőolajok reológiai tulajdonságait javító termékeket ismertek fel és állítottak elő ipari méretekben.

A PAM molekulaszervezetébe nitrogéntartalmú monomer beépítésével detergens-diszpergens kiegészítő hatású adalékokat nyertek. Igazolták az így előállított, reológiai tulajdonságokat (viszkozitás, viszkozitásiindex, dermedéspont) javító PAM típusú adalékok előnyös alkalmazási lehetőségeit többfokozatú, magas teljesítményszintű motorolajokban. Az említett folyásjavító adalékok és kompozíciók felhasználásával több mint egy évtizeden át állítottak elő többfokozatú és a kor akkori követelményeit kielégítő teljesítményszintű motorolajokat (Komáromi Kőolajipari Vállalat, KKV).

A korszerű benzin- és dízelüzemű személy- és tehergépjárművek, valamint az erőgéppark megfelelő kenéstechnikai tulajdonságú kenőolajokkal való ellátása során egyre nagyobb igény jelentkezett a jelentősen megnövelt olajcsere-idejű, azaz hosszú csereperiódusú termékek iránti igény. Ehhez azonban szükség volt új és a korábbiakénál sokkal hatékonyabb adalékok, elsődlegesen az öregedésgátló (oxidációgátló), a detergens-diszpergens (DD tisztító és tisztán tartó hatású) és a hidegiszap-diszpergáló adalékok felismerésére, kifejlesztésére, illetve továbbfejlesztésére.

A fémtartalmú (hamutartalmú) DD adalékok közül nagy előrelépést jelentett a következőkben ismertetettek kifejlesztése, ipari méretű gyártása és alkalmazása (Magyar Ásványolaj és Földgáz Kísérleti Intézet, MÁFKI; Fűzfői Nitrokémia, NIKE; Dunai Kőolajipari Vállalat, DKV).

- Cink-dialkil-ditiofoszfát (ZnDDP adalék), oxidáció-, kopás- és korróziógátló adalék (M-201 márkajelű; HU 15494/1962.).
- Alkilfenol-ditiofoszforsav bázikus bárium sója (tiofoszfát), oxidáció-, korróziógátló és detergens motorolaj-adalék (M-267 márkajelű; HU 146058/1958.; HU 150840/1962.; HU 166126/1972.; HU 166595/1972.).
- Abban az időben többnyire a személy-, tömegközlekedési, teher- és erőgépi kenőolajok esetén 2000–4500 km-es olajcsere-periódus volt a jellemző.
- Az M-267 jelű adalék gyártása a Lardoline Olaj-, Zsiradék- és Vegyipar Rt. Budapesti üzemében az 1960-as években kezdődött, majd a Balatonfűzfői Nitrokémia Zrt.-nél folytatódott 1980-ig. Összesen több 10 000 tonna adalékot gyártottak, és ezen adalék felhasználásával a DKV és KKV mintegy 1 millió tonna MMA (benzinüzemű motorok) és MDA (dízelüzemű motorok) olajat állított elő, forgalmazott.
- Alkilbenzol-szulfonsav bázikus bárium, majd kalcium sója (szulfonát), magas hőmérsékleten hatásos detergens motorolaj-adalék (M-250 márkajelű; HU 162443/1970.; HU 170459/1974.).
- A DD adalékok, köztük a leghatékonyabb szulfonátadalékok megakadályozzák a káros, üzemzavart okozó szennyeződések koagulálódását, a kirakódások, eltömődések kialakulását, tisztán tartják a fémfelületeket.

- Poliizobutilén-tiofoszfonsav bázikus bárium- vagy kalciumsója, amely diszpergens, hidegiszap-diszpergáló motorolaj-adalék (M-400 márkajelű; HU 167627/1972.).
- Alacsonyabb üzemi hőmérsékleten tapasztalható az úgynevezett hidegiszap-képződés jelensége. Tipikusan ilyen az úgynevezett „stop and go” üzem, főleg dízelmotoroknál, például a városi közlekedési autóbuszok, reptéri személyszállító eszközök, mezőgazdasági gépek esetében. Ezek diszpergálására, szolubilizálására fejlesztették ki alkil-/poliizobutilén-tiofoszfonsavat típusú adalékokat. (Jellemzőjük a molekulában lévő C-P kötés.)
- Többfunkciós adalék elegy (részipackage), az M-250 és az M-400 adalékok 4:3 arányú keveréke (gyártó: Fűzfői Nitrokémia; ME-1 márkajelű). Az ME-1 adalék elegy felhasználásával a Dunai Kőolajipari Vállalat olajkeverő üzemében fejlesztették ki az MDC SAE 15W-40 és SAE 15W-50 elnevezésű Supplement-1, DEF 2101 minőségi szintű (a későbbi API CC) multigrade motorolajat. Az M-201 adalékkal és az ME-1 adalék eleggyel előállított MDC kenőolaj felhasználása lehetővé tette az általánosan 10 000 km-es olajcsere-periódus bevezetését.

Az előzőekben bemutatott adalékok alkalmazásának legfontosabb előnyei a következők: a géppark élettartamának növelése, a meghibásodások miatt fellépő kiesések csökkentése, az addig alkalmazott csereperiódus növelése. Ennek következtében Magyarországon, a géppark növekedése ellenére is, a „fáradt olaj” éves mennyisége a korábbi mintegy 150 000 tonnáról 100 000 tonna alá csökkent.

A VVE/VE/PE kutatói az 1970-es években kezdték el a különböző molekula-tömegű és eltérő kémiai összetételű poliizobutilén-szukcinimidek és származékaik kutatását-fejlesztését. Ezeket főleg motorolajok és hajtóanyagok adalékaiként használták és használják. Ennek okai például motorolajok adalékaiként: felhasználáskor „lemossák” a motorfelületen keletkező lerakódásokat, diszperzióban tartják az olajban nem oldódó részeket, semlegesítik a savas vegyületeket stb. Motorhajtóanyagokban hozzájárulnak az üzemanyag-ellátó rendszer és a befecskendező rendszerek tisztán tartásához, a fűvókák és motorelemek tisztításához („clean up”) és tisztán tartásához („keep clean”) stb. A termikus vagy gyökös inicializálású szintézissel nyert köztitermékek termikus acilezésével és változó befejező reakciók alkalmazásával 14 tagból álló adalékcsaládot fejlesztettek ki, beleértve a polimerszerkezetűeket is (Komad-300... sorozat) (VVE/VE/PE, KKV/MOL-LUB Kft.).

A poliizobutenil-borostyánkősav-anhidridből előállított mono- vagy bisz-szukcinimidek, valamint ezek különböző arányú elegyei kedvező detergens-diszpergens tulajdonságait szintén a tanszéken kidolgozott, illetőleg az ott továbbfejlesztett laboratóriumi előszelektáló hatásvizsgálati módszerek felhasználásával igazoltuk (például: diszperziót stabilizáló képesség, lerakódást lemosó hatás, lemez-kokszosodási próba stb.).

Az 1970-es évek biztató laboratóriumi eredményei alapján a kutatásokat támogató Komáromi Kőolajipari Vállalat és a NITROKÉMIA szakembereivel közösen

az 1970-es évek közepén sikeres félüzemi adalék-előállítási kísérleteket végeztek az utóbbi vállalat kísérleti üzemében.

A termikus előállítási eljárás és az adalék alkalmazásának jogi védelmére két találmányt is bejelentettek: „Eljárás hamumentes detergens-diszpergens adalékanyag előállítására” és „Adalékolt motorolajkompozíció” címmel, amelyek HU 170349/1974. és HU 179650/1976. lajstromszámmal szabadalmi oltalmat kaptak.

A kedvező eredmények alapján a KKV vezetése kezdeményezte az OKGT-nél egy 1500 t/év kapacitású üzem létesítését, amire az engedélyt meg is kapta. Ezt először 3000 t/év (1988), majd 5000 t/év (1993) kapacitására bővítették a több szabadalommal is védett termékek és eljárások alapján (HU 170349/1974. és HU 179650/1976.).

Az 1980-as évek második felében a kutató-fejlesztő tevékenység fő célja olyan származékok kifejlesztése volt, amelyek szigorúbb feltételek mellett is a korábbi adalékokéval megegyező vagy azokénál nagyobb detergens-diszpergens hatékonyságúak és/vagy más előnyös kiegészítő hatásokkal, így viszkozitás- és viszkozitásindex-növelő, kopásgátló hatásúak, tömítésekkel is összeférhetőek, halogénmentesek, és előállítási költségük lehetőleg kisebb a korábbiakénál.

A kitűzött célokat részben a termikus technológia korszerűsítésével és nagy részarányban láncvégi kettős kötést tartalmazó polioizobutilén felhasználásával (HU 197936/1987.; HU 205778/1991.), másrészt gyökös iniciálást és komonomert alkalmazva olyan köztitermék előállításával érték el, amelyekből termikus acilezéssel az említett tulajdonságok közül eggyel vagy többel rendelkező végtermékeket lehet szintetizálni (HU 206390/1991.; HU 211439/1993.). A több hidroxil-csoportot tartalmazó alifás alkohollal és a poliaminnal végzett acilezéssel olyan észter-amidok és poliészter-poliamid származékok keletkeznek, amelyek bázikus csoportjainak poláris jellege és így detergens-diszpergens hatékonysága is nagyobb a hagyományos szukcinimidekéénél.

Az energetikailag kedvező körülmények között (120–160 °C) szintetizált köztitermékekben az egy poliolefin molekulára eső átlagos borostyánkősav-anhidrid-gyűrűk számát igény szerint 1,1 és 6 között lehet megváltoztatni komonomer reaktáns(ok) alkalmazásával vagy anélkül. Mivel az MSA-PIB reakció során olyan köztitermékeket szintetizáltak, amelyek szerkezete alapvetően különbözött bármely eddig ismert molekuláétól, a termikus acilezési lépésben is további olyan finomszerkezeti változtatásokat eszközöltek, amelyek a korábbi vegyületekétől eltérő szerkezetű végtermékeket eredményeztek (EP658572/1994.; EP677572/1995.; és PCT WO 95/28460/1995.; HU 213255/1995.; EP0789069/1995.).

Számos fékpadi vizsgálat adatai igazolták, hogy a MOL-SG és -SH szintű motorolajai minden tekintetben kielégítik az API-SG, illetőleg -SH, valamint az ACEA/CCMC PD2 előírásait. A MOL SH motorolaj ezenkívül megfelelt a VW 500.00/505.00 szerinti fékpadi és tömítésekkel való összeférhetőségi vizsgálatok valamennyi követelményének is. Az igazoltan eredményes kutató-fejlesztő tevékenység megkoronázását az 1993 decemberében átadott újgenerációs szukcinimidek előállítására szolgáló, 2500 t/év kapacitású poliszukcinimid (PSC) üzem jelentette. A szabadalmak haszno-

sítása óta a kereskedelmi forgalomba került adalék bevétel, valamint a saját termékekben felhasznált adalék miatti megtakarítás jelen értéken 4,7 Mrd HUF többletbevétel eredményezett (érintett termékek árbevétele 35 Mrd HUF).

A Veszprémi Egyetem Ásványolaj- és Széntechnológiai Tanszéke, a MOL Rt. Komáromi Finomító szakembereinek a II. Magyar Innovációs Nagydíj Pályázatára benyújtott „Motorolajokban alkalmazható hamumentes detergens-diszpergens adalékcsalád kifejlesztése és gyártása” című pályázatában ismertetett eredményeket a bírálóbizottság jelentős és sikeres innovációnak minősítette, és elismerésben részesítette.

A korszerű kenőolajok (például motorolajok, hajtóműolajok, ipari olajok) fejlesztése és gyártása a KKV, majd a MOL-LUB Kft. segítségével (közreműködők: MÁFKI, VVE/VE/PE, MVMT stb.) az 1960-as évektől folyamatos volt. A termékek minősége mindenkor megfelelt a legszigorúbb hazai és nemzetközi analitikai és alkalmazás-technikai előírásoknak.

A korszerű *kenőzsírok* gyártása és kínálata az idők folyamán egyre inkább felölelte a teljes hazai és nemzetközi palettát (Lardoline Kőolajipari Vállalat és jogelődjei, majd KKV/MOL-LUB Kft.). Jelentős hazai és exportértékesítés volt, például az 1980-as és 1990-es években a módosított, lítium-kalcium kevert bázisú komplex kenőzsír (HU 195675/1994.). Kiemelkedő jelentőségű még jelenleg is az alumínium-komplex kenőzsírok sűrítő komponenseinek gyártása (kezdeti receptúra: MÁFKI és Szerves Vegyipari Kutatóintézet). A szabadalommal (HU 201343/1989.) védett kutatási eredmények alapján gyártják és exportálják a KOMAD-3E, -3S és -3SW márkanévű (élelmiszeripari minőségű) termékeket. Ugyancsak fontos, értékes és részben exporttermékek is a kenőzsírok hamumentes ditiokarbamát oxidációgátló (HU 9500320/1995.) adalékai, amelyek a fémtartalmúakat (HU 203079/1988.) váltották ki, és amivel 2,2 Mrd HUF árbevételt ért el a MOL.

Ezen a helyen említjük meg, hogy a Komáromi Kőolajipari Vállalatnál állították elő több mint 25 éven át a szinergetikus hatású hidrofobizáló és tapadásgátló kompozíciót *szilárd műtrágyák kezelésére* (Péti Nitrogénművek, KKV, Veszprémi Vegyipari Egyetem; HU 167827/1974.). Ezt a magyar műtrágyaiparban nagy nyereséggel használták fel, és jelentős volt az ezzel kezelt műtrágyák exportja is. Az ismerteknél alapvetően eltérő összetételű kompozíció egy speciális kémiai alkotókat tartalmazó (kőolajból származó) olajkomponensből, valamint 8–22 szénatomszámú egyenes és/vagy elágazó láncú aminok célirányos elegyéből, továbbá telített és/vagy telítetlen zsírsavakból áll.

A *bitumenek* magyarországi előállítása tulajdonképpen a Zalai Kőolajipari Vállalat (1954. 10. 01.) és jogelődjei (1952. 05. 22.) létesítéséhez köthető, amit alapvetően a nagylengyeli kőolaj-kitermelés nagyon eredményes adatai és a kőolaj különleges minőségi jellemzői indokoltak. A nagylengyeli kőolaj vákuum maradéka 60–67% hozamú, intermedier-aromás jellegű, nagy aszfaltén- és kéntartalmú (15–20%, illetve 5–5,5%) és nagy viszkozitású. Útépítésre kiváló minőségű bitumen. Igazolták, hogy a bitumenek minőségét nemcsak az aszfalténtartalom és az aszfaltének molekula-

tömege, hanem azok polaritása (például heteroatom-tartalma) és az ebből adódó aszociációk is jelentősen befolyásolják.

A magyar bitumen-előállítás kezdetétől nemcsak a hazai felhasználás volt jelentős, hanem az Európában szinte egyedülálló minőségű bitumentermékek exportja is. A különböző minőségű bitumeneket főleg útépítésre, szigetelésre, brikettezésre stb. használták. Napjainkban az utóbbi jelentősége visszaesett (gyakorlatilag megszűnt a fejlett régiókban), viszont az építőiparban történő különböző felhasználása jelentős mértékben növekedett (kb. 12–15%-ra), a kb. 75–80% útépítési és 5–12% szigetelési célú felhasználáson kívül.

Egy régió versenyképessége, gazdasági fejlettsége és fejlődése elképzelhetetlen megfelelő közlekedési infrastruktúra, így a megfelelő minőségű és fenntartású útburkolatok nélkül. Az aszfaltot alapvetően ásványi anyagokból (zúzott kő, mészkőliszt) és bitumenből (4–6 tömeg%) állítják elő az aszfaltgyártó üzemekben. A bitumen az aszfaltban elsődlegesen kötőanyag szerepét tölti be, azaz összeragasztja és egyben tartja az aszfaltkeveréket az útburkolatban. Az úthálózatok építése és fenntartása minden országban jelentős kiadás a költségvetés számára, ezért mindenhol nemzetgazdasági érdek a minél jobb minőségű, hosszú élettartamú és a lehető legkisebb fenntartási költségű aszfaltutak építése.

Az úthálózatok leggyakoribb problémái: plasztikus deformáció magas hőmérsékleten és nagy forgalmi terhelés esetén, közepes hőmérsékleten fáradási repedések, alacsony hőmérsékleten termikus repedések (a bitumen rideggé válik), nem megfelelő tapadás az ásványi anyag és a bitumen között, ami kátyúk kialakulásához vezet.

A modifikált (sztirol-butadién-sztirol polimert, gumiőrleményt és esetleg zsíramint, kenőolajextraktot, „fáradt olajat” stb. tartalmazó) útépítési bitumenkompozíciót fejlesztett ki a MÁFKI, a ZKV és a Zalaegerszegi Közüti Igazgatóság vékonyaszfalt előállítására (HU 202263/1988.).

A MOL Rt. és a MÁFKI ipari bitumen előállítására alkalmas eljárást szabadalmaztatott, amely 0 °C alatti hajlítási hőmérsékletű bitumenes tetőszigetelő lemez-készítéshez használható fel (HU 208442/1993.). Az eljárás módosított változatát (háromlépcsős viszkozitáscsökkentéssel és oxidációval) ipari bitumen előállítására (szovjet paraffinos kőolajból kiindulva) a NESTE OY (Finnország) megvásárolta, és a feltalálók közreműködésével bevezette.

A Pannon Egyetem és MOL Nyrt. olyan új gumibitumen-előállítási eljárást és gumibitumen-formulát dolgozott ki, amely megőrzi a korábbi gumibitumen termékek előnyeit, míg azok hátrányait megszünteti vagy legalább jelentősen mérsékeli. Sikertült olyan gumibitumen terméket felismerni és előállítására eljárást kidolgozni (HU 226481/2005., EP1960472B1/2006., PCT/HU2006/000114), amely a kőolaj-finomító maradékfeldolgozó egységébe integrálható, a termék a többi bitumentermékhez hasonlóan több száz kilométerre szállítható tartályautóban, az aszfaltgyártáshoz a meglévő aszfaltreceptúrák alkalmazhatók, és az útépítés is ugyanúgy történik, mint a hagyományos aszfaltok alkalmazásakor. Az egyedi gyártástechnológia mellett újdonság az is, hogy egy olyan, saját fejlesztésű kompatibilizáló adalék is felhasználás-

ra kerül, ami kémiai stabilizáció során a gumiőrleményt alkotó komponensek és a bitumen összeférhetőségét javítja. Az említett szabadalom szerint 2012-ben 5000 t/év kapacitású prototípus üzem épült a MOL Nyrt. Zalai Finomítójában, a szabadalom szerinti termék megnevezése: kémiailag stabilizált gumibitumen, kereskedelmi megnevezése: gumival modifikált bitumen. 2020-ban átadták a méretnövelt, 20 000 t/év kapacitású üzemet (Zalai Finomító). Eddig összesen kb. 30 000 tonna gumibitumént értékesítettek. Mára autópályák különböző rétegeiben is megtaláljuk a terméket. A teszteredmények szerint a terhelhetőség, a fáradási ellenállás és a hidegoldali viselkedés tekintetében is legalább olyan vagy magasabb minőségi szinttel jellemezhető aszfaltok gyárthatók a kémiailag stabilizált gumibitumennel, mint a gyakorlatilag csak autópályák építéséhez használt polimerrel modifikált bitumenek felhasználásával. A termék nagy volumenű alkalmazása tehát hozzájárulhat úthálózatunk minőségének és tartósságának javításához, ugyanakkor megoldást kínál a használt gumiabroncsok környezetbarát és értéktéremtő újrahasznosítására.

A gumibitumen-technológia és gumibitumennel épített aszfaltutak kifejlesztéséért 2014-ben a MOL Nyrt. és a STRABAG Általános Építő Kft. elnyerték a Földművelésügyi Minisztérium 2014. évi Környezetvédelmi Innovációs Díját, és ugyanebben az évben megkapták a Környezetbarát Termék Védjegyet.

Ipari műveletekben keletkező veszélyes gázok és folyékony hulladékok termikus átalakítására dolgozták ki a szabadalmakkal védett MÁFKI-THERM eljárást. Ez a műszaki megoldás gyors és tökéletes keverést alkalmaz, így a hulladékanyagok kedvezőbb reakciófeltételek között alakulnak át, amelynek következtében csökken a kibocsátott káros anyagok mennyisége. Ezt használták a MOL Rt. Dunai Finomítójában bitumenfuvatási gázok termikus átalakítására hőhasznosítással egybekötve. A MÁFKI-THERM eljárást alkalmazták savgyanta termikus átalakítására és hasznosítására a DKV Claus-üzemében is. A savgyantát 1000–1150 °C között Claus-üzemi feldolgozásra alkalmas kén-dioxid-tartalmú gázzá alakították át.

A MÁFKI, a DKV/MOL, adott esetben TKV vagy Nyírbogdányi Kőolajipari Vállalat K+F eredményei alapján a kőolaj-finomítás során keletkező *különböző minőségű paraffinokból* eltérő összetételű, változó felhasználási lehetőségű (például: háztartásvegyipari, papíripari, élelmiszeripari, légkábeltvédelmi, telefonkábel-kitöltő stb.) termékeket állítottak elő (HU 164782/1970.; HU 176509/1978.; HU 190851/1983.; HU 195240/1985.).

A MOL Petrolkémia a BME kutatóival közösen optimalizálta a *poliolefin termékek adalékanyag-rendszereit*, a PE-vel *polimerizációs katalizátorokat* fejlesztettek, míg a Miskolci Egyetemmel hozzájárultak a technológiai víz- és gőzrendszerek korrózióvédelméhez.

A szénhidrogén-feldolgozó ipar részére a hazai *korrózióvédelmi kutatás-fejlesztés* más területeken is fontos eredmények sorát érte el, amelyeket a gyakorlatban is felhasználtak. Főleg a vegyszeres megoldásokat alkalmazták, a passzív (bevonatos) és a katódos védelemmel (például terméktartályok védelme) szemben. A kutatások a NAKI-ban (1951) kezdődtek, majd az SZKFI-ben és ezt követően a MOL Nyrt. Korrózió- és

Környezetvédelmi Főosztályán folytatódtak. Az 1950-es években ki kellett képezni egy szakembercsoportot, fel kellett mérni a finomítói üzemek és berendezések korróziós állapotát stb. a korróziós problémák megoldásához (Bacscai et al. 1973; Rauscher 1972).

Az SZKFI Korróziós Osztályán 1980-tól szisztematikus kutató tevékenységet végeztek a vegyszeres és bevonatos védelem, a korróziós méréstechnika (például üzemnyomás alatt cserélhető korróziós szonda kifejlesztése) és a korróziós analitika (például adalékok és inhibitorok minősítése) területén (Isaák–Simor 1983; Isaák 1986; Mészáros–Simor 1990; Isaák et al. 2013). A recirkulációs hűtővízkörök mikrobiológiai korróziója elleni védekezés kidolgozását az SZKFI, az MTA KKKI-val és a Gödöllői Agrártudományi Egyetemmél együtt végezte (Telegdi–Shaban–Trif 2017, 193). A MOL Nyrt. Korrózió- és Környezetvédelmi Főosztálya a Bay Zoltán Kutatóintézet segítségével a Dunai Finomítóban bevezette a kockázatalapú állapotfelügyeleti rendszert a statikus készülékekre és csővezetésekre, és 2023 óta folyik egy élettartam-hosszabbítási projekt a 2050-ig történő biztonságos üzemeltethetőség érdekében.

A finomítói üzemek alapanyagaiként megjelenő különböző megújuló komponensek (például hulladék sütőolaj, állati eredetű zsír) korróziós hatásának vizsgálatára végzett kutatások eredményei alapján meghatározták a korróziósebességeket különböző ipari környezetben (Lukács et al. 2020).

Összefoglalás

A kőolaj-feldolgozás területén az előzőekben bemutatott K+F+I eredmények alapvetően hozzájárultak Magyarországon a fenntartható mobilitás feltételeinek több lépésben történő kialakulásához és a napjainkban is az egyre csak fokozódó követelmények és elvárások teljesítéséhez. Ezenkívül a fejlesztések fontos szerepet játszottak több más iparágban alkalmazható kőolajipari termék alapanyag- és energiatakarékos, környezetbarát és gazdaságos előállításának megvalósításában is.

Az előzőekben bemutatott eredmények jól érzékeltetik azt is, hogy a tudományos igényességgel működő kutatóhelyeken elért eredmények fokozatos és célirányos átültetése az iparba, majd ezt követő gazdaságos alkalmazása megvalósítható a kutatók és ipari szakemberek többéves, kölcsönös bizalmon alapuló együttműködésével, olykor még akkor is, ha – kényszerű okok miatt – az erős nemzetközi versenyben kedvezőtlenebb anyagi feltételek mellett kell csúcsmínőségű termékeket és eljárásokat kifejleszteni.

Köszönetnyilvánítás

Nagyrabecsülő köszönetünket fejezzük ki a magyar kőolaj-feldolgozó ipar, az egyetemek és a kutatóintézetek azon egykori és jelenlegi munkatársainak (közel 50 fő), akik szakmai elhivatottságukból és a tudomány iránti szeretetükből, tiszteletükből fakadóan információkkal és tanácsokkal hozzájárultak a közlemény összeállításához. Külön köszönet illeti Hőke Ferenc vegyész-mérnököt szakszerű tevékenységéért az ábra- és szövegszerkesztés folyamatában.

Irodalomjegyzék

- Adámy Béla – Németh András (1968). *A magyar kőolajfeldolgozóipar története az államosításig*. Budapest: Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt.
- Ancillotti, Francesco et al. (1987). „MTBE from Butadiene-Rich C/sub 4/s”. *Hydrocarbon Processing*, 66/12, 50–53.
- Bacskaï Antal et al. (1973). „Szerkezeti anyagok kiválasztása és gyakorlati alkalmazása a Dunai Kőolajipari Vállalat technológiai készülékeihez”. *Korróziós Figyelő*, 13/6, 241–249.
- Cseh Valentin (2000). *A magyar olajipar Trianon előtt és után*. Budapest: Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum, 47–83.
- Cseh Valentin (d. n.). „A magyar kőolaj-feldolgozó ipar a MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyilvánosan Működő Részvénytársaság–MOL NyRt. / MOL-csoport (MOL Magyar Olaj- és Gázipari Részvénytársaság – MOL Rt.) (alapítva: 1991. X. 1.) része”. *MOL* (letöltés: 2025. július 3.). https://mol.hu/images/content/A_MOL_rol/Tarsasagunkrol_roviden/Torteneti_attekintes/MOL%20jogelodok%20tabla_2400x.jpg.
- Eller, Zoltán – Varga, Zoltán – Hancsók, Jenő (2016). „Advanced Production Process of Jet Fuel Components from Technical Grade Coconut Oil with Special Hydrocracking”. *Fuel*, 182, 713–720. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.06.055>.
- Fonyó, Zsolt – Mizsey, Péter (1994). „Economic Application of Heat Pumps in Integrated Distillation Systems”. *Heat Recovery Systems and CHP*, 14/3, 249–263.
- Hancsók, Jenő et al. (2000). „Production of Environmentally Friendly Engine Gasolines with Increased Isoparaffin Content”. *Petroleum and Coal*, 42/3–4, 166–170.
- Hancsók, Jenő et al. (2007a). „Investigation of the Production of High Cetane Number Biogasol from Pre-hydrogenated Vegetable Oils over PT/H₂Sm–22/al₂O₃”. *Microporous and Mesoporous Materials*, 101/1–2, 148–152. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2006.12.012>.
- Hancsók, Jenő et al. (2007b). „Investigation of Energy and Feedstock Saving Production of Gasoline Blending Components Free of Benzene”. *Fuel Processing Technology*, 88/4, 393–399.
- Hancsók, Jenő et al. (2011). „Investigation the Effect of Oxygenic Compounds on the Isomerization of Bioparaffins over Pt/SAPO-11”. *Topics in Catalysis*, 54/16, 1094–1101. <https://doi.org/10.1007/s11244-011-9730-x>.
- Hancsók, Jenő et al. (2017). „Fuels with High Hydrogen Content in Their Molecular Structures”. *Istanbul 22nd World Petroleum Congress (Block: B2, Refining, Transportation and Petrochemistry; Forum Title: F11 Products of the Future)*, 2017. július 9–13., ppt: slide 18. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11011.81445>.
- Hancsók, Jenő – Kasza, Tamás – Visnyei, Olivér (2020). „Isomerization of n-C₅/C₆ Bioparaffins to Gasoline Components with High Octane Number”. *Energies*, 13/7, 1672. <https://doi.org/10.3390/en13071672>.
- Isaák György – Simor László (1983). „Kőolaj-desztilláló tornyok pH szabályozásának kérdései”. *Kőolaj és Földgáz* 16, 116/3, 87–90.
- Isaák, György et al. (2013). „Upgrading of Refinery’s Corrosion Management System”. *Goriva i Maziva*, 52/2, 144–156.
- Isaákné Schramm Judit (1986). *Komplex vizsgálati módszer kidolgozása a kőolaj desztilláló berendezések korrózió-inhibitorainak minősítésére*. Egyetemi doktori értekezés, Veszprémi Vegyipari Egyetem.
- Kasza, Tamás – Kalló, Dénes – Hancsók, Jenő (2014). „Quality Improvement of Bio-Paraffin Mixtures”. *Fuel*, 120, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.11.043>.
- Kovács, Sándor et al. (2011). „Fuel Production by Hydrotreating of Triglycerides on NiMo/al₂O₃/F Catalyst”. *Chemical Engineering Journal*, 176–177, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.05.110>.
- Krár, Márton et al. (2010). „Fuel Purpose Hydrotreating of Sunflower Oil on CoMo/Al₂O₃ Catalyst”. *Bioresource Technology*, 101/23, 9287–9293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.107>.
- Lukács, Zoltán et al. (2020). „Corrosion Testing and Evaluation of Gas Oil Desulfurization Reactor Structure Material in the Presence of Fatty Acids”. *Engineering Failure Analysis*, 107, 104221. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104221>.

- Mészáros, Lajos – Simor, László (1990). „Electrochemical A. C. Methods for the Study of Inhibitors Used in the Oil Industry”. *Acta Chimica Hungarica*, 127/1, 121–127.
- Nauwelaerts, Louis Gerard (1937). *Harc a petróleumért*. Budapest: Királyi Magyar Természettudományi Társulat.
- Papp Simon (2000). *Életem*. 2., bővített kiadás. Zalaegerszeg: Magyar Kőolajipari Múzeum.
- Peredi Ágnes, szerk. (2011). *20 éves a MOL*. Budapest: MOL Nyrt.
- Pölczmann György et al. (2011). „Hydroisomerization of Fischer–Tropsch Wax on PT/A1SBA-15 and Pt/SAPO-11 Catalysts”. *Topics in Catalysis*, 54/16–18, 1079–1083. <https://doi.org/10.1007/s11244-011-9728-4>.
- Rauscher Ádám (1972). „Kőolajfeldolgozó üzemekben inhibitorok hatékonyságának vizsgálata”. *Korróziós Figyelő*, 12/5, 193–197.
- Sipos Antalné, szerk. (2003). *Az államosítás előtt működött ásványolajfinomító vállalatok repertórium*. Budapest: Magyar Országos Levéltár.
- Srivastava, Satya Prakesh – Hancsók, Jenő (2014). *Fuels and Fuel-Additives*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118796214.index>.
- Statistical Review *cf* *World Energy* (2024). Energy Institute, 73rd edition. <https://tinyurl.com/2cwprva2>.
- Szebényi, Imre – Széchy, Gábor – Isaák, László (1980). „Reforming of Naphtha Fractions on a Platinum–Rhenium Catalyst”. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 24/2–3, 113–122.
- Szurovy Géza (1993). *A kőolaj regénye*. Budapest: Hírlapkiadó Vállalat.
- Telegdi, Judit – Shaban, Abdul – Trif, László (2017). „Microbiologically Influenced Corrosion (MIC)”. In: El-Sherik, Abdelmounam M., szerk. *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies: Production and Transmission*. Cambridge: Woodhead Publishing, 191–214. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101105-8.00008-5>.
- Tomasek, Szabina – Varga, Zoltán – Hancsók, Jenő (2020). „Production of Jet Fuel from Cracked Fractions of Waste Polypropylene and Polyethylene”. *Fuel Processing Technology*, 197/2, 106197. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.106197>.

Barangolás a magyar szilikátkémiai kutatás fejlődésében: múlt, jelen, jövő

Tracing the Development of Hungarian Silicate Chemistry Research: Past, Present, Future

Soósné Balczár Ida¹ – Kristófné Makó Éva² – Eniszné Bódogh Margit³ – Korim Tamás⁴ –
Fitosné Boros Adrienn⁵ – Jakab Miklós⁶ – Szabó Roland⁷

¹ PhD, egyetemi adjunktus, Pannon Egyetem Anyagmérnöki Intézeti Tanszék, Veszprém

² PhD, egyetemi docens, Pannon Egyetem Anyagmérnöki Intézeti Tanszék, Veszprém

³ PhD, egyetemi docens, Pannon Egyetem Anyagmérnöki Intézeti Tanszék, Veszprém

⁴ PhD, egyetemi docens, dékánhelyettes, Pannon Egyetem Anyagmérnöki Intézeti Tanszék, Veszprém
korim.tamas@mk.uni-pannon.hu

⁵ PhD, tudományos munkatárs, Pannon Egyetem Anyagmérnöki Intézeti Tanszék, Veszprém

⁶ PhD, tudományos munkatárs, Pannon Egyetem Anyagmérnöki Intézeti Tanszék, Veszprém

⁷ PhD, tudományos munkatárs, Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítés és Környezettechnológia Intézet, Miskolc

Összefoglalás

A szilikátipar és a vele kapcsolatos kutatások múltja hetvenöt évre nyúlik vissza Magyarországon, ez idő alatt számos nemzetközileg is ismert szabadalmat és kutatási eredményt mutattak fel. Jelen cikk igyekszik egy rövid, átfogó képet adni a korai időszak fő fejlesztési területeiről, majd részletesebb betekintést adni a jelenleg is folyó kutatásokról a kötőanyagok, bioaktív kerámiák és agyagásvány-nanoszerkezetek területén.

Abstract

The history of the silicate industry and related research in Hungary dates back 75 years. During this time, many internationally renowned patents and research results have been achieved. This article provides an overview of the main areas of development in the early period and offers a detailed insight into ongoing research in the fields of binders, bioactive ceramics, and clay nanostructures.

Kulcsszavak: szilikátipar, kötőanyagok, biokerámiák, kaolinit nanoszerkezetek

Keywords: silicate industry, binders, bioceramics, kaolinite nanostructures

1. Korai évek a szilikátkémia kutatásában

1.1. Az úttörő Szilikátipari Tudományos Egyesület (SZTE) és az Építőanyagipari Központi Kutatóintézet (ÉAKKI)

A szilikátipar fejlődésének a második világháborús újjáépítések és általánosan, az építőanyagok iránt megnövekedett igény adta meg a kezdő lökést. A korai években az általános szakemberhiány volt a jellemző, emellett műszakilag és gyártási technológiáját tekintve a szilikátipar a legelmaradottabb, legkorszerűtlenebb iparágak közé

tartozott Magyarországon. 1949-ben alakult meg az Építőanyagipari Tudományos Egyesület, amely egyesítette az ország szakemberbázisát, majd 1960-ban vette fel a Szilikátipari Egyesület nevet, és 1989-ben vált Szilikátipari Tudományos Egyesületté (SZTE). 2024-ben ünnepelte fennállásának 75. évfordulóját. Az *Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials* folyóirat (1. ábra) kiadása az Egyesület megalapításával egy időben kezdődött. A nyomtatott lapok példányszáma kezdetben csak néhány száz volt, de később jóval ezer példány fölé emelkedett, és végül elérte a kétezret. A lap korábbi felelős szerkesztői Becz Jenő, Székely Ádám, Wojnárovits Lászlóné, Tóth-Asztalos Réka, Borosnyói Adorján és Gyurkó Zoltán voltak. A Magyarországon szilikátipari kutatással foglalkozó valamennyi szervezet és intézmény publikált benne.



1. ábra. Az *Építőanyag* folyóirat egyik korai példánya és 75 éves fennállásának különszáma
 Forrás: saját felvétel, Soósné Balczár Ida

Szintén ebben az időszakban (1953) alapították meg az Építőanyagipari Központi Kutatóintézetet (ÉAKKI). Az intézet főleg, de nem kizárólagosan szilikátipari kutatással foglalkozott (mész, gipsz, betonjavító anyagok, bitumenes anyagok stb. szintén kutatásaik között szerepelt). Első igazgatója Korach Mór akadémikus, egyetemi tanár volt, ő fogta össze a gyárakban spontán alakult műszaki csoportokat és kutató szellemiségű műszaki szakembereket. Az intézet tízéves működése alatt jelentős fejlesztéseket végeztek.

Korai eredményeik közé tartozott az első perlitduzzasztó kísérleti üzem kiépítése, amely magyar nyersanyagból tudott szemcsés, hőszigetelésre alkalmas terméket előállítani 100–150 kg/m³ testsűrűséggel; később Nyugat-Európa több üzeme is átvette a technológiát. Ugyanezen duzzasztott perlitből kerámiakötésű terméket is előállítottak Rioporit néven, amely alkalmas volt alacsonyabb hőmérsékletű kemencék kiépítéséhez (mivel 900 °C-ig alkalmazható) és hőszigeteléshez. Az üvegolvasztó kemencék falazatát alkotó Korvisit kád-kő kifejlesztése szintén az Intézet nevéhez kötődik, maig gyártott és alkalmazott magyar találmány, amelyet timföld elektromos ívfénnyel történő olvasztásával állítanak elő.

A kísérleti üzemi állapotig eljutott találmányokon kívül az Intézetnek voltak műszakilag és tudományosan fontos eredményei is. Ilyen például a körfolyamatos őrlés elméletének kidolgozása, amellyel azonos energiafelhasználás mellett finomabbra őrlött termék nyerhető. Ennek segítségével tudtak nagy kezdőszilárdságú cementeket előállítani, valamint kifejlesztették a *karbonátadalékos* cementet is, amely a tiszta klinkercementtel (a mai nomenklatura szerint CEM I) azonos szilárdságú, de 20–25% mészköliszt felhasználásával készült. Ez jelentette a kezdő lépést a fenntarthatóbb cementek kifejlesztéséhez.

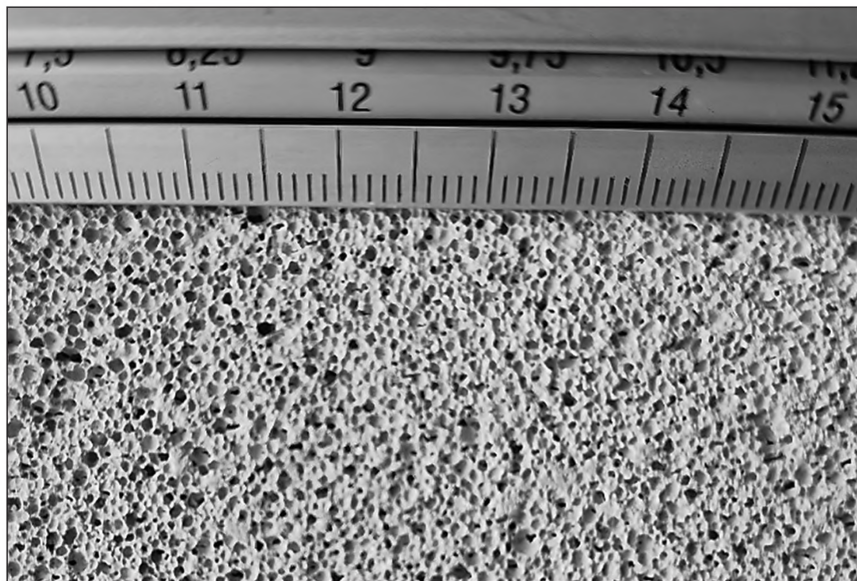
1.2. A stafétabotot átvevő SZIKKTI

Az ÉAKKI végül 1966-ban SZIKKTI (Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet) néven folytatta tovább a tevékenységét, leghosszabb ideig (1964–1983) hivatalban lévő igazgatója Talabér József professzor volt. Az Intézet létszáma a szilikátipari nagyberuházások idején az 1200 főt is meghaladta. A tervező-technológiai részlegek mellett a kutatás-fejlesztés az üveg, durvakerámia, finomkerámia, különleges anyagok, cement, beton, szilikátkémia, energetika, automatizálási és távlati fejlesztési osztályokon folyt. Ezen húszéves ciklus legjelentősebb kutatási eredményeit a továbbiakban szakosztályonként ismertetjük.

Ahogy bemutattuk, már az ötvenes évek végén, hatvanas évek elején születtek törekvések a klinkerrel való „spórolásra”. A *Cement és Beton Osztály* több összetételt is kifejlesztett, ahol a klinkertartalmat változó minőségű adalékanyagokkal helyettesítették, például vörösiszappal, trasszal, kohósalakkal, murvával és pernyével. Kitértek a kutatások az adalékanyagok szennyezőinek (például széntartalom) és a finom frakciónak a szilárdságot befolyásoló hatására is.

Ezzel egy időben nyert teret a betonok tulajdonságait javító anyagok (mai nevén adalékszerek) alkalmazása is, amelyek segítségével több főbb tulajdonság, például a kötési idő, illetve a konzisztencia tág határok között befolyásolható. Először alkalmaztak úgynevezett légpórusképzőket, hogy a betonok a fagykárokkal szemben ellenállóbbá váljanak. Különleges betonokat is állítottak elő: vízzáró betont, hőálló betont és úgynevezett futóhomok betont is. Utóbbi a Duna–Tisza közén fellelhető futóhomokot használta fel kézi falazóelemek előállítására, mivel a klasszikus építőanyagok (kő, tégl) a környéken nem voltak megtalálhatók.

A sejtbeton (mai nevén gázbeton) gyártása 1965-ben indult meg Magyarországon (2. ábra). A SZIKKTI elsősorban a selejtcsökkenésben vett részt azzal, hogy bevezette az úgynevezett hidrofil alumíniumpasztát, amit könnyen és egyenletesen lehetett elkeverni a cementpépben, egységes pórusszerkezetet eredményezve (2. ábra). Az Intézet emellett kidolgozta az autoklávozás optimális paramétereit és minősítette a késztermékeket (testsűrűség, nyomószilárdság, víz-, pára- és nedvességfelvétel).



2. ábra. A gázbeton sejt szerkezete
Forrás: saját felvétel, Soósné Balczár Ida

A *Durvakerámia és Szigetelőanyag Osztály* a kunszentmártoni, békéscsabai és szentesi téglagyárak agyagainak minősítésében vett részt, de emellett foglalkozott massaösszetételek kidolgozásával, a szárítási eljárás optimalizálásával, selejtanalízissel és az alagút-kemencék falazatának gyors javítási lehetőségeinek kutatásával is. A hatvanas években a lakóházak falazatainak egyre szigorúbb hőtechnikai előírásoknak kellett megfelelniük, ezért kifejlesztették a fokozott hőszigetelő képességű téglákat (UNIFORM). Az UNIFORM termékben növelték a téglaporozitását, és üregeket alakítottak ki benne, ez az elemcsalád a mai napig kereskedelmi forgalomban is kapható.

A hőszigetelő anyagok kutatása elsősorban a hazai perlit hasznosítására irányult. A perlit különleges adottsága, hogy hevítés hatására a külső felülete meglágyul, miközben a közetben kémiaiilag kötött víz vízgőzzé válik, majd a kapillárisokon keresztül távozik az anyag belsejéből. Ennek köszönhetően a perlit térfogatának négy- vagy akár hússzorosára is képes duzzadni ömlesztett, gömb formájú hőszigetelő anyagot képezve. A *Szigetelő Osztály* kísérletei a kiindulási nyersanyagok minősítésére, a perlitduzzasztás technológiai fejlesztésére és a késztermékek minősítésére irányultak.

A *Finomkerámia Osztály* több új termék gyártástechnológiájának kidolgozásában is részt vállalt, például az elektromosan szigetelő, ensztatitalapú kerámiák (3. ábra), a hotelporcelánok és az egyszer égetett mázas padlóburkolólapok előállításában. Ezenkívül csökkentett ólomtartalmú mázakat dolgoztak ki kályhacsempékhez, valamint magastüű máz alatti és máz feletti kobaltfestékeket állítottak elő.



3. ábra. Ma is kapható kerámiaalapú nagyfeszültségű vezetők
Forrás: saját felvétel, Soósné Balczár Ida

Az *Üveg Osztály* feladatai közé tartozott a meghatározott tulajdonságú üvegtípusok (gyújtógyertyák közélektrodáit rögzítő és tömítő üveg, nagy nyomásnak vagy átütési szilárdságnak ellenálló üveg, kis hőtágulási tulajdonságú üvegkerámia) kidolgozása. Az üveggyártás szempontjából lényeges technológiai paraméterek meghatározása (üvegolvadékok viszkozitása és elektromos vezetőképessége, az üvegszerkezet és üveg szilárdság összefüggéseinek kutatása, az üveg szilárdságát növelő eljárások kidolgozása, kristályosodási vizsgálatok); valamint az üvegipari nyersanyagok kutatása, üvegipari tűzálló anyagok vizsgálata, a zománcgyártás fejlesztése és a szigetelő szálanyagok hazai nyersanyagainak kutatása szintén a tevékenységi körük részét képezte.

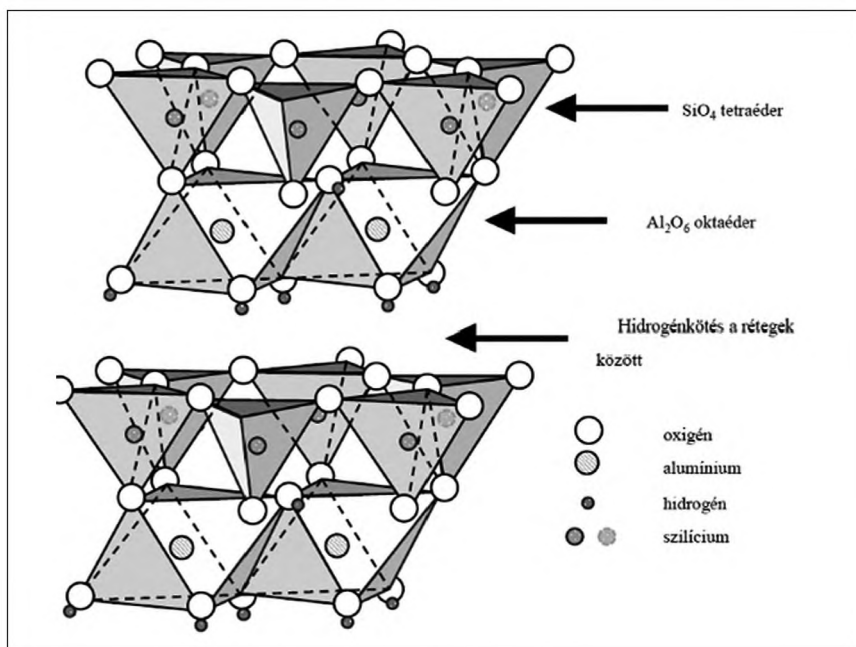
A szakosztály szintén foglalkozott kis hőtágulási együtthatójú vitrokerámiák (üvegkerámiák) fejlesztésével. A vitrokerámiák $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (LAS) bázison olvasztott üvegekből készülnek, amelyekből 800 °C-os hőkezelés hatására eukriptit ($\alpha\text{-LiAlSiO}_4$) és spodumen ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) kristályok válnak ki, ezek a kis hőtágulású anyagok teszik lehetővé hő- és lángálló háztartási edények, főzőlapok előállítását.

2. Új irányok és fejlesztések

Az elmúlt több mint hetven évben világszinten is jelentős eredmények születtek Magyarországon a szilikátkémiahoz kapcsolódó fejlesztésekben. A továbbiakban a teljesség igénye nélkül három innovatív kutatási területre koncentrálunk (kaolinit nanoszerkezetek fejlesztése, bioaktív kerámiák, alkáli aktivált kötőanyagok), amelyek magyar egyetemeken és kutatóintézetekben valósulnak meg, ugyanakkor nemzetközi szinten is jelentős figyelmet kapnak.

2.1. Kaolinit nanoszerkezetek fejlesztése mechanokémiai és interkalációs módszerekkel

A kaolinit kétrétegű filloszilikát, amelyben egy tetraédes és egy oktaédes réteg csatlakozik egymáshoz, Si^{4+} és Al^{3+} központi kationok szereplésével. Az egymást követő kettős rétegeket hidrogénkötések tartják össze, amelyek ellensúlyozzák a rétegszerkezetben geometriai okokból ébredő feszültségeket (4. ábra). Ha ezek a kötések meggyengülnek vagy felszakadnak, bekövetkezhet az egyedi kettős rétegek leválása és feltekeredése. Napjainkra a kaolinitnél alkalmazott különféle szerkezetmódosító eljárások, köztük a mechanokémiai, illetve az interkalációs eljárások sokat fejlődtek, és a laboratóriumi érdekességekből az anyagtudományban széles körben alkalmazható módszerekké váltak.



4. ábra. A kaolinit szerkezete
Forrás: saját szerkesztés, Soósne Balczár Ida

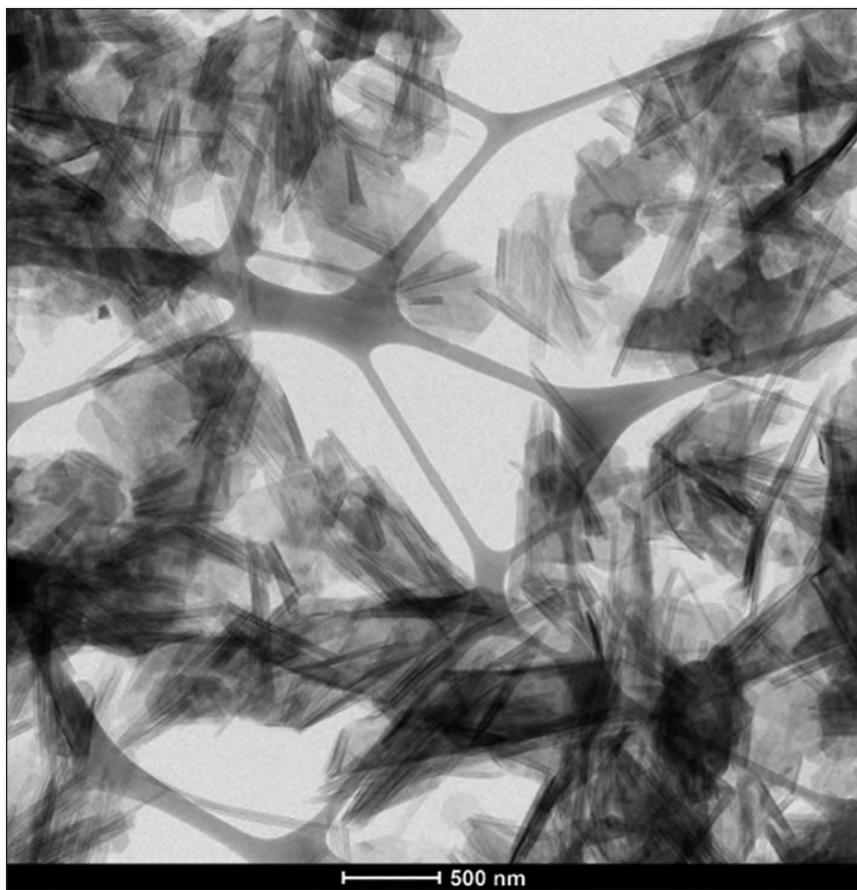
A mechanokémiai eljárásokban mechanikai erőhatásokkal anyagszerkezeti, fizikai-kémiai, valamint kémiai reakciókat váltanak ki a szilárd anyagokban. Amennyiben az úgynevezett nagyenergiájú őrlés számottevően megváltoztatja az eredeti tulajdonságokat, akkor azt mechanikai (mechanokémiai) aktiválásnak nevezzük. Ezen változások közé tartozik a szemcsék deformációja és törése, rácshibák és diszlokációk keletkezése, a kristályszerkezet amorfizációja stb. A mechanokémiai aktiválással az a célunk, hogy ezen folyamatok segítségével az anyagot minél aktívabb állapotba hozzuk, miközben a másodlagos folyamatokat (visszarendeződés, a rendszer durvulása – aggregáció, agglomerizáció) visszaszorítjuk. Magyarországon elsőként a szilikátok őrlésekor végbemenő mechanokémiai átalakulásokat Juhász A. Zoltán és munkatársa (Juhász–Opoczky 1982) tanulmányozták. Kása Eszter és munkatársai, szegedi kutatók a kaolinit mechanokémiai kezelését vizsgálva felfedezték, hogy a Lewis-savas helyek száma jelentősen megnövekedett, ami gyorsította a kiindulási kaolinit oldódását függetlenül a származási helytől (Kása et al. 2021).

A veszprémi Anyagmérnöki Intézeti Tanszéken (AMIT) megállapították, hogy az amorfizációs folyamatban keletkező kvázikristályos állapot kedvező a mullit-típusú kristályok alacsonyabb hőmérsékletű képződéséhez. Egyetemi és ausztrál kollégákkal együttműködve különböző kristályosodottságú kaoliniteknél meghatározták, hogy a mechanokémiai aktiválással, a kaolinitrétegek szétválásával, a rácshibák számának növekedésével és a krisztallitméret csökkenésével párhuzamosan egy új, gyenge diffrakciót mutató hidratált felületű alumínium-szilikát fázis alakul ki. A kaolinit szerkezeti rendezettsége jelentős mértékben befolyásolja a mechanokémiai átalakulást, mert a jól kristályosodott birdwoodi kaolinitnél nagy szerkezeti deformáció lép fel, míg a rosszul kristályosodott szegi kaolinit esetén szinte változatlan marad a rácshibák mennyisége. Már egy viszonylag rövid idejű mechanokémiai aktiválás is jelentősen javítja a szelektív savas kioldást, amellyel gyakorlatilag a teljes Al_2O_3 -tartalmat oldatba lehet vinni, így nagy fajlagos felületű nanopórusos anyagot lehet előállítani.

Az elmúlt pár évben Makó Éva vezetésével a veszprémi AMIT kutatásait tovább bővítette az aktivált kaolin puccolános (pozzuoli habarcsos) reaktivitásának tanulmányozása irányába (Makó–Őze 2022), ami napjainkban fontos az új, környezetbarát kötőanyagok fejlesztése szempontjából. A mechanokémiai aktiválás a termikusnál hatékonyabbnak bizonyult a puccolános reaktivitás növelésére. A diatomaföld és a szilikapor, amelyek alapvetően amorf és üveges fázisból álló, kemény anyagok, a kristályos kvarchoz hasonlóan, kvázi belső őrlőtestként viselkedve gyorsítják a kaolinit amorfizációját. Az így végzett együttes őrlés a nagy puccolános reaktivitás eléréséhez kb. 90%-os amorfizációnál a legkedvezőbb.

Az interkalációs eljárásokkal, a kaolinit szerkezetének célzott módosításával többek között korszerű polimer nanokompozitokban vagy a nanoszerkezetű anyagrendszerekben jól alkalmazható nanocsövek is kialakíthatók. A kaolinitrétegek közötti térbe poláris vendégmolekulák bevihetők (interkaláció), majd a bevitt molekulát más poláris molekulával lehet helyettesíteni. Nanocsöveket többlépéses interkalációval

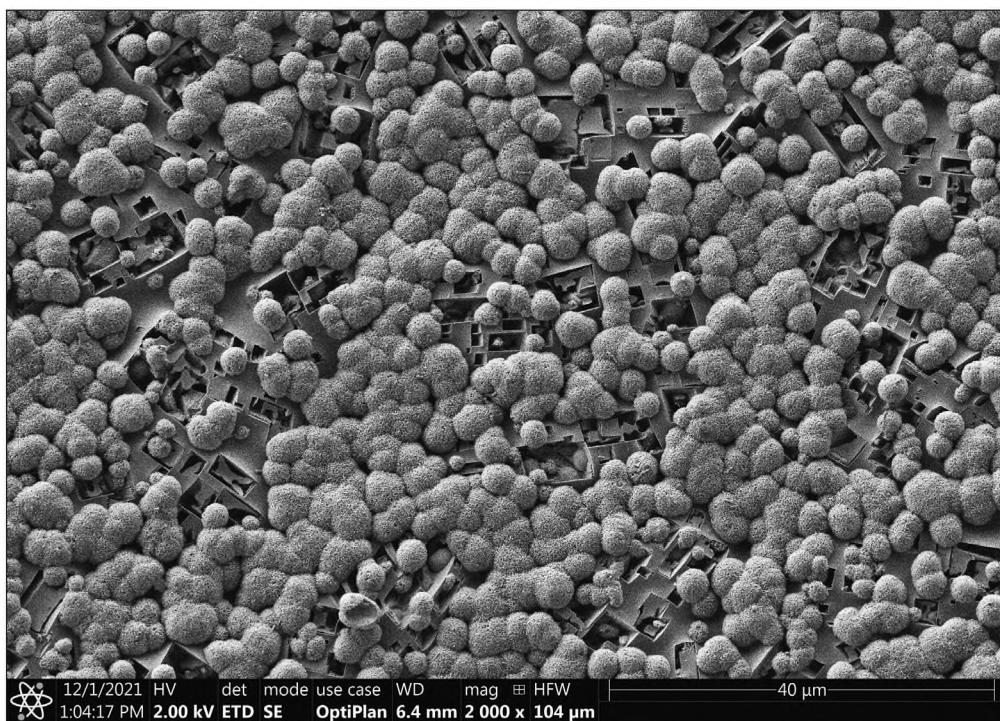
lehet kialakítani, ahol a szemcséket egyedi kaolinrétegekre bontják, és a rétegek a hidrogénkötések megszűnésével feltekerednek nanocsövekké (5. ábra). Magyarországon Gábor Magda és szerzőtársai (Gábor et al. 1989) (ELTE), majd Veszprémben Kristóf János és szerzőtársai (Kristóf et al. 1993) tanulmányozták először a kaolinit interkalációját, amit számos jelentős kutatás követett egészen a nanoszerkezetek kialakításáig. Papp Szilvia és Dékány Imre (2001) interkalációs módszerekkel Pd nanorészecskéket állítottak elő és stabilizáltak kaolinrétegeken. Rutkai Gábor és Kristóf Tamás az interkalált kaolinit szerkezeteket klasszikus molekuláris szimulációs módszerekkel és molekuláris klaszter modellekkel (Táborosi Attila és munkatársai) jellemezték. Makó Éva és munkatársai a többlépcsős interkalációt fejlesztették tovább, ahol a cél az organokomplexek és nanotekercsek szerkezetének jellemzése mellett az előállításukhoz szükséges vegyszerek mennyiségének, a kezelési lépések számának és idejének a csökkentése volt.



5. ábra. TEM-felvétel a kaolinit nanocsőről
Forrás: saját felvétel, Pekker Péter

2.2. Bioaktív kerámiák fejlesztése

A Ca-foszfát bázisú bioanyagok alkalmasak közvetlen kötés kialakítására az élő csonttal, ezért közvetlenül csontpótlásra is felhasználhatók. Kis mechanikai szilárdságuk azonban korlátozza klinikai alkalmazásukat. Ez a hátrányos tulajdonság apatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH},\text{F})_2$), whitlockit ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) és wollastonit (CaSiO_3) kristályos fázisokat tartalmazó üvegkerámiák alkalmazásával nagyban kiküszöbölhető. Az üvegkerámiák bioaktivitását elsődlegesen az üvegmátrix kémiai összetétele, a benne található kristályos fázisok mennyisége, részecskemérete és eloszlása határozza meg. A wollastonit kristályos fázis egyrészt elősegíti az apatit irányított kristályosítását, másrészt szálas szerkezete révén kedvezően befolyásolja az üvegkerámia mechanikai tulajdonságait, így ezen termékek nagyobb igénybevételnek kitett csontok pótlására is alkalmasak (6. ábra).



6. ábra. Üvegkerámia bevonattal rendelkező biomorf kerámia

Forrás: saját felvétel, Jakab Miklós

A bioüveg-kerámia Ca-P-tartalmú kristályos fázisait egyrészt analitikai tisztaságú vegyszerekből, lecsapásos módszerrel lehet előállítani, viszont az így kapott termékek nem tartalmazzák az emberi csontok nyomeleseit. Emiatt az AMIT állati (szarvasmarha) csontörleményt használt fel a kutatásaiban, míg a HUN-REN Energetika-

mányi Kutatóközpont Vékonyréteg Fizika Laboratóriumának munkatársai tojáshéjből indultak ki.

Az AMIT-en, Bódogh Margit vezetésével (Dobrádi–Enisz–Bódogh–Kovács 2017) végzett kísérletek során a biokerámia előállításához először a nagy tisztaságú alapanyagok (SiO_2 , CaCO_3 , P_2O_5 , Na_2CO_3 , MgO , K_2CO_3) keverékét 1300°C -on megolvasztják, majd gyorsan lehűtik, így 1100°C -on olvadó bázisüveg fritt keletkezik, amely 82 tömeg% üveges/amorf fázis mellett β -whitlockit, wollastonit, valamint különböző szerkezetű SiO_2 kristályos fázisokat tartalmaz. Ezen $<100\ \mu\text{m}$ szemcseméretű bázisüvegporhoz előkezelt (hőkezeléssel fehérjementesített) állati csontörleményt adnak, és hidraulikus préseléssel pasztillákat készítenek. A természetes eredetű, állati csontból nyert adalékok a Ca és a P elemek mellett számos kis mennyiségű kísérőelemet tartalmaznak. A 965°C -on hőkezelt csontörlemény a hidroxiapatit mellett nagyobb hányadban tartalmaz β -whitlockitot, míg az 1430°C -on égetett, majd gyorsan hűtött csontörleményben a hidroxiapatit és a β -whitlockit mellett megjelennek az α -whitlockit, valamint a magas hőmérsékleten stabil $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$ és α - CaP_2O_6 fázisok is, amelyek nagymértékben befolyásolhatják a bioaktivitás szempontjából fontos oldódási sebességet.

A minták 1000 , 1050 és 1100°C -os hőkezelésével 0 – 26 térfogat% látszólagos (nyílt) porozitású üvegkerámiák állíthatók elő, ahol a porozitást elsősorban az égetési hőmérséklet befolyásolja. 1100°C -on tömör, közel zérus porozitású termékek képződnek, mindez alapvetően meghatározza a mechanikai tulajdonságokat, oldhatóságot, az élő szervezetbe való beépülést, és egyben lehetővé teszi az adott tulajdonságok szabályozását is. A bioaktív implantátumok hatékony, gyors beépüléséhez $>100\ \mu\text{m}$ átmérőjű pórusok szükségesek, ugyanis az ehhez hasonló szerkezetek hajlamosak csak vazkularizációra (érképződésre).

Az üvegkerámiák bioaktivitását szimulált testfolyadékban végzik. A testfolyadék Ca- és P-tartalmának vizsgálata alapján a mesterségesen előállított hidroxiapatit oldhatósága kisebb, mint az állati csontadalékokkal vagy tojáshéjjal készült mintáké, az égetési hőmérséklet növelésével, tehát a porozitás csökkenésével pedig a kioldott Ca mennyisége csökken. A 965°C -on égetett, β -whitlockitot tartalmazó állati csontadalékkal készített mintáknál az üvegkerámiákra jellemző szokásos oldódási sebesség adódott, míg az α -whitlockit-tartalmú üvegkerámiák gyorsabb oldódást mutattak.

Az üvegkerámiák mechanikai szilárdságát vizsgálva megállapítható volt, hogy a különböző módon hőkezelt állati csontörlemény-adalékkal készített üvegkerámiák hajlítószilárdsága kétszer nagyobb 1100°C -os égetési hőmérséklet mellett ($88\ \text{MPa}$), mint a mesterségesen előállított hidroxiapatitot tartalmazók ($\sim 47\ \text{MPa}$). A 25 tömeg%-os csontörleménnyel készített, 1000°C -on égetett, porított üvegkerámiából jól tapadó, megfelelő porozitású (2 – 6 térfogat%) és szilárdságú, 115 – $266\ \mu\text{m}$ vastag bevonatokat állítottak elő saválló acéllemezen, titánötvözetben ($\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$) és korundlapon plazmaszórással, amelyek bioaktivitása közel azonos a tömbi anyagokéval.

Az eredményekből látszik, hogy a különböző módon előkezelt, az emberi csontokhoz hasonló nyomelemeket tartalmazó állati csont- és tojáshéjörlemények előnyösen alkalmazhatók bioüveg-kerámiák előállítására. Szabályozható minőségű, az adott

felhasználási célnak jobban megfelelő tulajdonságú, az élő szervezetbe kedvezőbben beépülő üvegkerámia implantátumok állíthatók elő belőlük.

A mágneses vas-oxidot tartalmazó hidroxipatit biokerámiák (nanokompozitok) egyre nagyobb szerepet játszanak a gyógyászatban, így előnyösen felhasználhatók MRI (Magnetic Resonance Imaging, mágneses rezonancia képalkotás) vizsgálatoknál kontrasztanyagként, gyógyszerek adott testrészbe történő szállításához, továbbá a rákos elváltozások hipertermiás kezeléséhez. Ezen nanokompozitok előállításánál elsősorban a biokompatibilis és bioaktív hidroxipatitot használják a nagy mágneses momentumú magnetitrészecskék beágyazására, mivel az megakadályozza a magnetitrészecskék paramágneses tulajdonságának romlását eredményező szemcsenövekedését és aggregációt. A mágneses nanokompozitok előállítása kétféle – egy- és kétlépcsős – eljárással végezhető.

- Az egylépcsős eljárás során $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ és $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ oldatokból, valamint $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ és FeCl_3 sósavban feloldott 1:2 molarányú keverékéből egyidejűleg történt a hidroxipatit és a magnetit lecsapátása.
- A kétlépcsős eljárásnál csapadékos módszerrel előzetesen előállított, hidroxipatit gélbe ágyazták a vaskloridok oldatából lecsapott magnetitrészecskéket.

Mindkét módszerrel lehetséges 5–40 tömeg% magnetittartalmú paramágneses nanokompozitok előállítása, amelyek tulajdonságai azonban részben eltérnek. A rácsparaméterek vizsgálata alapján csupán az egylépcsős módszernél épülnek be a Fe^{3+} ionok a hidroxipatit kristályszerkezetébe, ami csökkenti az oldhatóságát szimulált testfolyadéokban; így ez a jelenség felhasználható az oldhatóság szabályozására. A mágneses nanokompozitok színváltozása felhasználható a mágneses szuszceptibilitás mérésére, mivel a színingerjellemzőik világossági tényezője (L) azzal összhangban változik, így a kevésbé időigényes színmérés eredményeiből következtetni lehet a mágneses tulajdonságok változására (Jakab et al. 2020).

2.3. Alkáli aktivált kötőanyagok (geopolimerek) fejlesztése

A különböző cementek gyártási kapacitása a 2010-es években elérte az évi 4 milliárd tonnát, a belőlük készült betonok a víz után az emberiség legnagyobb mennyiségben használt anyagává váltak. Ez egyben azt is jelenti, hogy alig készül olyan műtárgy, ahol ne használnának cementet, illetve az abból készült betont. Minden kedvező tulajdonságuk mellett egyre nagyobb gondokat okoz a környezetre gyakorolt káros hatásuk. Egy tonna cement előállítása kis túlzással egy tonna CO_2 emissziójával jár, amelynek jelentős része nem csökkenthető, mivel a mészkőből az égetés során mindig felszabadul a CO_2 . A másik fő probléma a tájrombolás, a hatalmas mészkőigény miatt hegyek tűnnek el a bányászat során. Ezekre a problémákra hosszú ideje keresik a megoldást a szakemberek, és sokáig úgy vélték, hogy az alkáli aktivált cementek megoldást jelenthetnek. A kutatások előrehaladtával a hagyományosnak tekinthető,

kötőanyagként szolgáló felhasználás mellé felzárkózott az egyedi, unikális sajátságokkal bíró termékek – kompozitok, katalizátorhordozók, hőszigetelő sajátságú anyagok – fejlesztése is.

A Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Karán (ME MFK) Mucsi Gábor vezetésével már több mint egy évtizede foglalkoznak geopolimerek fejlesztésével különféle hulladékokat felhasználva. A kutatások kezdetben a hazai erőműi pernyék (lignitpernye, zagyteri barnaszén- és feketeszénpernye) geopolimer alapanyagként való alkalmazhatóságára fókuszáltak. A kutatások során kitüntetett szerepet kapott a termék tulajdonságainak szabályozása a pernye különböző malomokban (golyósmalomban, keverőmalomban és rezgőmalomban) történő mechanikai aktiválása révén, amely kutatómunkát nemzetközi (indiai) együttműködés keretében végezték (Mucsi et al. 2015). A kutatási eredmények rávilágítottak egyrészt a pernye szemcsemérete és reakcióképessége közötti összefüggésre, másfelől arra, hogy a hazai pernyék reakcióképessége őrléssel megvalósított mechanikai aktiválás útján jelentősen fokozható, ami a geopolimerek tulajdonságaira is pozitív hatást gyakorol.

Az ME MFK-n hazai és nemzetközi együttműködések keretében 2010-től végzett kutatások során az erőműi pernye mellett számos, döntően hazai ipari hulladék (például vörösiszap és kohászati salakok), valamint primer nyersanyag (például perlit, pumicit, kaolin és agyag) mint lehetséges geopolimer alapanyag vizsgálatára is sor került. Az eddig elvégzett kutatásaik kiterjedtek többek között az alapanyag összetételének, szemcsefinomságának vizsgálata mellett az előállítás során használt lúgos oldat (aktiválószer) mennyiségének és összetételének, valamint gyártástechnológiai vonatkozásban az alkalmazott tömörítési módszernek (döngölés vagy vibrációs tömörítés) és a kezelési körülményeknek (hőkezelési hőmérséklet, idő és nyomás) a kész termékek tulajdonságaira gyakorolt hatásának vizsgálatára is.

Az ME MFK ipari partnerekkel együttműködve számos olyan kutatási projektben is részt vett, amely geopolimer-alapú termékprototípus fejlesztésével foglalkozott. Ezek közül kiemelendő a szilikáttartalmú ipari melléktermékekből környezetbarát építőanyag, úgynevezett geopolimer beton előállítása. A kutatás során megállapítást nyert, hogy a hazai ipari hulladékok (erőműi pernye, vörösiszap, kohászati salak) szinergikus hasznosításával megfelelő szilárdságú és fagyállóságú geopolimer beton állítható elő. Másik jelentős, ipari együttműködés keretében megvalósult projekt a polisztirol hulladék hasznosítása révén hőszigetelő geopolimer kompozit fejlesztésével foglalkozott. A kutatómunka eredményeként olyan szigetelőanyagot fejlesztettek, amelynek a hagyományos polisztirol szigetelőanyaghoz képest jobbak a mechanikai (szilárdsági) és lángállósági tulajdonságai, továbbá hőszigetelő sajátsága is megfelelőnek bizonyult. Ezzel összefüggésben az ME MFK jelentős kutatási eredményének tekinthető a könnyűadalék töltésű geopolimer kompozit fejlesztése is, amelynek segítségével olyan szabadalmaztatott eljárást dolgoztak ki, amellyel különféle, főként hulladékalapú könnyűadalékok (például üveghab, expandált polisztirol hulladék, valamint duzzasztott perlit) felhasználása mellett állítható elő hőszigetelő kompozit.

A Miskolci Egyetemen a szálerősített geopolimer kompozitok előállítására is nagy hangsúlyt fektetnek. A kutatások nemcsak a szervesetlen, szilikátbázisú (bazaltszáltartalmú) szálerősített kompozitok fejlesztésére fókuszálnak, hanem különféle hulladékok (gumiabroncsból származó acélszalak, biomassa, textilhulladékok) szálerősítő hatását is vizsgálták már.

Jelentős eredményeket értek el a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítés és Környezettechnológia Intézetében (NyKI) geopolimer habok előállítása területén is. Az eddigi kutatásaik rámutattak arra, hogy a geopolimer paszta folyási viselkedését nemcsak annak folyadék/szilárd anyag arányának módosításával lehet megváltoztatni, hanem az alapanyag (például erőművi pernye) mechanikai aktiválása révén is. Mivel a geopolimer paszta folyási viselkedése jelentősen befolyásolja a geopolimer habok pórusszerkezetét (pórusok méretét, alakját és mennyiségét), ezáltal a nyomószilárdságukat is, így módon a paszta reológiájából becsülhetők a geopolimer hab testsűrűsége és porozitása. A 7. ábrán az ME-MFK-n fejlesztett főbb geopolimer termékek prototípusa látható.



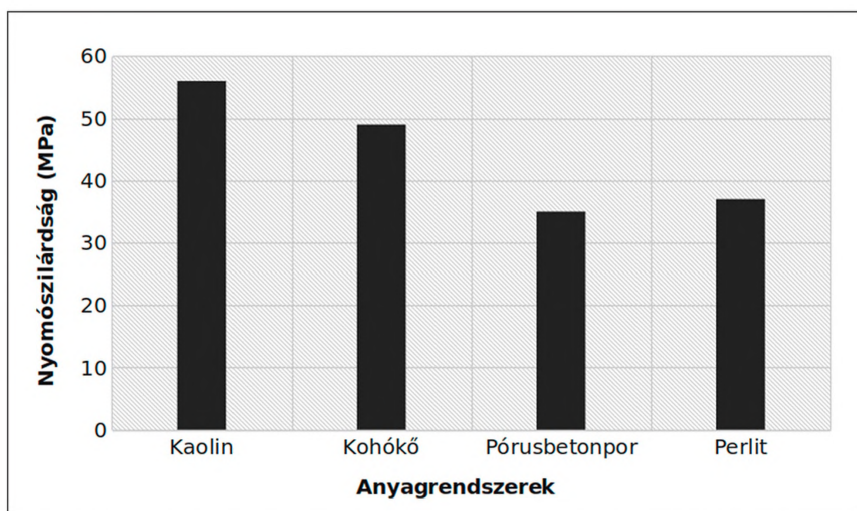
7. ábra. Az NyKI-ben fejlesztett főbb geopolimer termékek

Forrás: saját felvétel, Szabó Roland

A Pannon Egyetem AMIT-je szintén több mint 15 éve foglalkozik alkáli aktivált cementek (geopolimerek) fejlesztésével. Korim Tamás vezetésével az egyik kiterjedt kutatásukban olyan új alapanyagokkal foglalkoznak, amelyek kiindulási állapotukban nem tekinthetők reaktívnak. A 2.1. részben is volt szó arról, hogy megfelelő őrlési

energia átadásával az anyagok kristályos szerkezete amorffá alakítható, így reaktivitásuk megnövelhető. Első kísérletekben a geopolimer egyik leggyakrabban alkalmazott nyersanyagát, a metakaolint helyettesítették amorfizált kaolinnal, és az őrlés hatékonyságát röntgendiffrakciós (X-ray diffraction, XRD) technika segítségével (a kristályos kaolin diffrakciós csúcsainak csökkenésével) követték nyomon. Az így előállított termékek mechanikai szilárdsága jobb, mint a metakaolinból készültké, amellet, hogy a fajlagos energiabevitel kisebb volt. A mechanokémiai aktiválás technikája számos lehetséges kiindulási anyag előtt nyitott utat, amelyek oxidos összetételük alapján alkalmasak lennének alkáli aktivált cementek (Alkali Activated Cements, AAC) előállítására, de reaktivitásuk nem megfelelő, mert teljesen vagy nagy részben kristályosak. Sikerült kristályos kohókőből AAC-t előállítani, amely oxidos összetételében azonos a granulált kohósalakkal, viszont míg az utóbbit hirtelen hűtik le, így nagyrészt üveges fázis alkotja, amelyet előszeretettel használnak AAC-k alapanyagaként és cementkiegészítő anyagként, addig az előbbi levegőn hűlt ki, így tökéletesen kikristályosodtak az összetevői, és ezért inertnek tekinthető. Megfelelő őrlési paraméterekkel viszont reaktív alapanyag nyerhető, amelynek nyomószilárdsága (49 MPa) még a granulált kohósalakból készült mintákét is meghaladta (Balczár et al. 2017).

Később az Intézet hasonló eredményességgel készített alkáli aktivált cementeket építési hulladékokból (többek között pórusbetonból és téglaporból), és folytatók kísérletek perlittel is (mivel Magyarország bővelkedik ebben a nyersanyagban), amelynek összetétele megfelel a geopolimerek előállítására. A perlit közet is mechanokémiai-lag aktiválható volt, 37 MPa-os nyomószilárdság értéket ért el a felhasználásával. A hőszigetelési sajátságok javítására 10 tömeg% duzzasztott perlittel kombinált kompozitot is előállítottak, ahol meglepő módon a szilárdsági sajátságok csak kismérték-



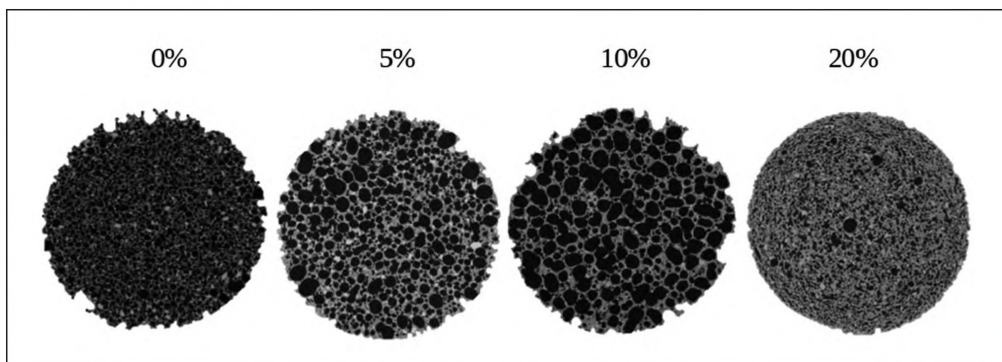
8. ábra. Anyagrendszerenként elért „csúcshőszilárdságok” mechanokémiai aktiválással

Forrás: saját szerkesztés, Soósné Balczár Ida

ben romlottak (8. ábra). A hővezetési tényező értéke 0,10 és 0,15 W/mK között változott, így kijelenthető, hogy a perlitbázisú AAC-k hőszigetelő sajátságú építőelemek előállítására remekül megfelelnek.

Megbizonyosodtak arról is, hogy a kapott amorf kiindulási anyagok reaktivitása nem csökken az idővel, hat hónappal az örlés után ugyanolyan jó reaktivitású és szilárdságú kötőanyagok voltak előállíthatók.

A geopolimerek további kedvező sajátsága, hogy kiválóan habosíthatók. A geopolimer habok speciális tulajdonságai (habzás utáni kismértékű zsugorodás, mechanikai és kémiai stabilitás, nagy hőmérsékleti ellenállás) az építőipari alkalmazásokon (például hőszigetelés) túl lehetővé teszik például katalizátorhordozó célú felhasználásukat is. Az Intézet metakaolin alapon, úgynevezett kombinált eljárással (elszappanosítás/peroxidbontás/gélesítés) olyan nagy nyílt porozitású (>60 térfogat%) és megfelelő nyomószilárdságú (>1 MPa) habokat állított elő, amelyek felületén TiO_2 részecskék immobilizálhatók, és ezáltal fotokatalitikus víztisztításnál alkalmazhatók. Felfedezték, hogy az AAC-habok a pórusszerkezetüktől függően önmagukban, TiO_2 részecskék nélkül is képesek fotokémiai aktivitásra; oxálsavat alkalmazva modellanyagként, akár 55%-os bontási hatékonyság is elérhető. A habok fotokémiai tulajdonságait (a bontóképességet) a kialakuló pórusszerkezet befolyásolja, CT-vizsgálatokból kiderült, hogy az 5 és 15 mm³ közötti pórusok hányada volt a kulcsfontosságú. Csak hidrogénperoxid alkalmazásával tovább volt növelhető a minták nyílt porozitása (75 térfogat%), azonban a fotokémiai aktivitás ekkor lényegesen romlott (<30% bontóképesség), ami viszont TiO_2 adagolással javítható volt (~45%), valamint a geopolimer mátrixban megkötött TiO_2 önmagában is pórusképző hatással bírt. Amint a 9. ábrán látható, az eltérő mennyiségű (0–20%) TiO_2 adagolás jelentősen befolyásolja a kialakuló pórusszerkezetet.



9. ábra. TiO_2 hatása a geopolimer pórusszerkezetére
Forrás: saját felvételek, Fitosné Boros Adrienn

Irodalomjegyzék

- Balczár, Ida et al. (2017). „Manufacture of Air-Cooled Slag-Based Alkali-Activated Cements Using Mechanochemical Activation”. *Construction and Building Materials*, 137, 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.121>.
- Dobrádi, Annamária – Enisz-Bódogh, Margit – Kovács, Kristóf (2017). „Plasma Spraying of Bioactive Glass-Ceramics Containing Bovine Bone”. *Processing and Application of Ceramics*, 11/2, 113–119. <https://doi.org/10.2298/PAC1702113D>.
- Gábor, Magda et al. (1989). „Interaction of Kaolinite with Organic and Inorganic Alkali Metal Salts at 25–1300 °C”. *Thermochimica Acta*, 148, 431–438. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(89\)85244-X](https://doi.org/10.1016/0040-6031(89)85244-X).
- Jakab, Miklós et al. (2020). „Influence of Wet Chemical Processing Conditions on Structure and Properties of Magnetic Hydroxyapatite Nanocomposites”. *Processing and Application of Ceramics*, 14/4, 321–328. <https://doi.org/10.2298/PAC2004321J>.
- Juhász Andor Zoltán – Opoczky Ludmilla (1982). *Szilikátok mechanikai aktiválása finomörléssel*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Kása, Eszter et al. (2021). „The Dissolution Kinetics of Raw and Mechanochemically Treated Kaolinites in Industrial Spent Liquor – The Effect of the Physico-Chemical Properties of the Solids”. *Applied Clay Science*, 203, 105994. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2021.105994>.
- Kristóf, János et al. (1993). „Intercalation Study of Clay Minerals by Fourier Transform Infrared Spectrometry”. *Vibrational Spectroscopy*, 5/1, 61–67. [https://doi.org/10.1016/0924-2031\(93\)87055-X](https://doi.org/10.1016/0924-2031(93)87055-X).
- Makó, Éva – Óze, Csilla (2022). „The Effects of Silica Fume and Diatomaceous Earth on the Mechanochemical Activation and Pozzolanic Activity of Kaolin”. *Applied Clay Science*, 228, 106636. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106636>.
- Mucsi, Gábor et al. (2015). „Control of Geopolymer Properties by Grinding of Land Filled Fly Ash”. *International Journal of Mineral Processing*, 143, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.08.010>.
- Papp, Szilvia – Dékány, Imre (2002). „Growth of Nearly Monodisperse Palladium Nanoparticles on Disaggregated Kaolinite Lamellae”. In: Dékány, Imre, szerk. *Adsorption and Nanostructure*. Berlin–Heidelberg: Springer, 94–100.

Megfogyva és lassan meg is törve: magyar kémiaoktatás a 21. században

Depleted and Soon to Be Broken: Hungarian Chemistry Education in the 21st Century

Lente Gábor

az MTA doktora, tanszékvezető egyetemi tanár

Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Kémiai Intézet Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék, Pécs
lente@gamma.ttk.pte.hu

Összefoglalás

A cikk statisztikai adatok segítségével áttekintést ad a magyar kémiaoktatás elmúlt bő három évtizedben bekövetkezett hanyatlásáról, elsősorban a kémiát választó diákok és a képzett tanárok számára koncentrálva. Ezekből megállapítható, hogy a kémiatanári szakma visszaszorulása már az 1980-as évek második felében megindult, s mára odáig jutott, hogy a gimnáziumokban a kötelező kémiaoktatás fenntarthatatlanná vált. A jelenség, illetve a kémikustársadalom ezzel kapcsolatos közönyét a szerző szubjektív véleménye alapján elemzi, nem feledve azt sem, hogy bizonyos válaszlépésekre történt azért kísérlet. A cikk utolsó része javaslatot tesz a magyar kémiaoktatás olyan gyökeres átalakítására, amely jobban szolgálná a társadalmi célokat és a jelenlegi erőforrásokkal is megvalósítható.

Abstract

The article uses statistical data to provide an overview of the decline of Hungarian chemistry education over the past three decades, focusing on student and teacher numbers. It reveals that the decline of the chemistry teaching profession began in the late 1980s and has now reached a stage where compulsory chemistry education in secondary schools is no longer viable. The author analyses this phenomenon and the indifference of the chemistry community towards it, offering his subjective opinion while acknowledging that some attempts have been made to address the issue. The final part of the article proposes a radical transformation of Hungarian chemistry education that would better serve societal goals and be feasible with the current resources available.

Kulcsszavak: oktatás, kémiatanári szakma, érettség, tanárkorfa, kémiaverseny

Keywords: education, chemistry teaching profession, graduation, teachers' age tree, chemistry competition

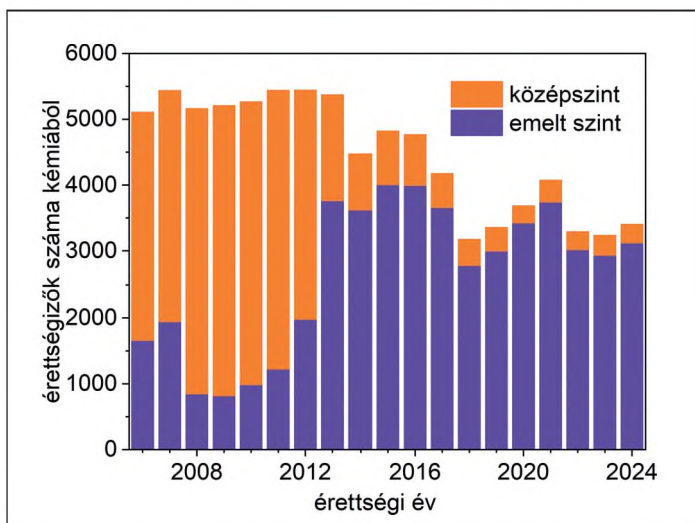
Bevezetés

Az alap-, közép- és felsőfokú magyar kémiaoktatás nincsen klasszikus válságban, és helyzetének kilátástalanságát nagyrészt ez a tény okozza. Egy válság általában hirtelen alakul ki, rövid távon is elfogadhatatlan tünetekkel jár, és felszámolására az érdekeltek nagy része jelentős áldozatok árán is törekszik. Ez a leírás a kémiaoktatás

jelenlegi helyzetére látványosan nem illik: itt évtizedek óta lassú enyészet uralkodik, ahol az éppen aktuális év mindig csak egy kicsit rosszabb az előzőnél. Ennek a folyamatnak a különböző jeleit mindenki tapasztalja, aki a kémiaoktatás bármelyik szintjén részt vesz, mégis hasznos, ha adatokkal kapunk legalább részben tényszerű képet arról, milyen irányban és mértékben haladtak előre. Az oktatás két főszereplője a diák és a tanár: ez a cikk mindkét szereplőt illetően megpróbálja a hosszabb távú változásokat felmérni.

Statisztikai elemzés a jelenlegi helyzet kialakulásáról

Az 1. ábra mutatja be a kémiát érettségi tárgyként választók számát a kétszintű érettségi vizsga bevezetése óta. Megfigyelhető, hogy a közép- és emelt szinten érettségizők országos száma 2014-ben csökkent először 5000 alá, s a 2020-as évekre már alig haladta meg a 3000-et: tíz év alatt mintegy 40%-kal csökkent.

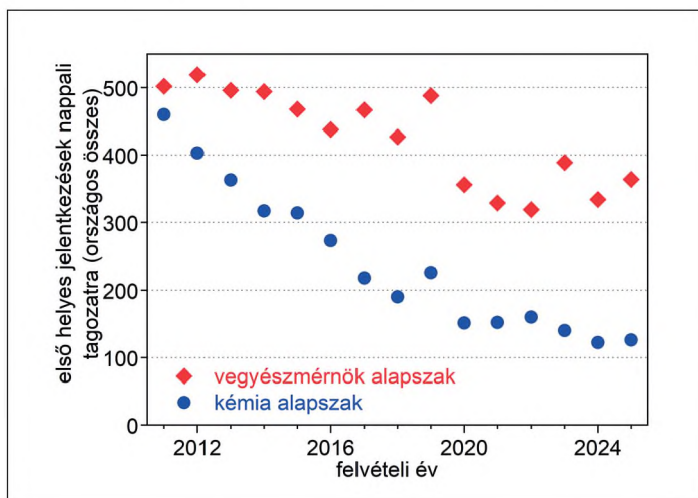


1. ábra. Az egyes években kémia tantárgyból érettségizők száma a kétszintű érettségi vizsga bevezetése óta

Forrás: <https://www.ketszintu.hu/>, saját szerkesztés

A 2. ábra a felsőoktatási jelentkezéseknél a kémia és vegyészmérnöki, nappali tagozatos alapképzésekbe első helyen jelentkezők számának alakulását mutatja. Az adatsorban az érettségizők számánál nagyobb visszaesés látszik: míg 2011-ben a két szakra együtt még közel ezren jelentkeztek, addig a 2020-as években csak 2023-ban voltak félezernél többen. Az összességében 50% körüli csökkenés látványos aszimmetriát mutat: a vegyészmérnök alapszakon mérsékeltebb, mintegy 30%; a kémia alapszak viszont lassan már a képzés létét is veszélyeztető, 75% körüli csökkenést élt meg. A nappali tagozatos kémia-tanár-képzés ebben az időszakban a 2. ábrán bemutatott

létszámskálán gyakorlatilag nem létezett. A pontos adatok összegyűjtése időigényes, mert az Oktatási Hivatal szakpáronként tartja nyilván a felvételi adatokat. A 2025-ös országos teljes jelentkezési szám 24, a 2024-es 17 volt, az ezekkel kapcsolatos évente visszatérő számháborúra egy későbbi bekezdés visszatér majd.



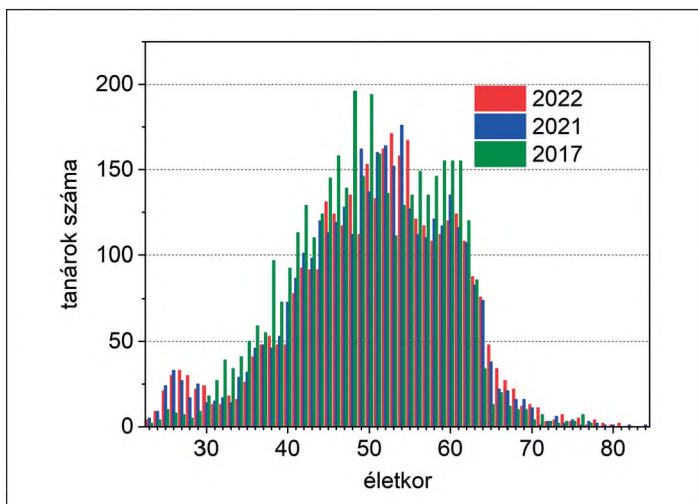
2. ábra. A felsőoktatási felvételi eljárásban nappali tagozatos kémia alapszakra és vegyszermérnök alapszakra jelentkezők száma 2011 és 2025 között

Forrás: <https://www.felvi.hu/>, saját szerkesztés

Az 1. és 2. ábrán bemutatott adatok összehasonlításából lényeges következtetés vonható le. A kémiából érettségizők 20%-nál is kisebb arányban választják a két, közvetlen kémiai kötődésű szak egyikét. Vagyis a tanárok jellemzően az orvosi és a gyógyszerész szakokra készítik fel diákjaikat, s ezért ez az igény határozza meg hozzáállásukat, s munkájuk sikerét vagy sikertelenségét is ez méri.

A hatékony közoktatás egyik nyilvánvaló előfeltétele a megfelelő számú képzett tanár. Az elmúlt másfél évtizedben alig-alig adtak ki egyetemeink nappali tagozaton új kémiatanári diplomát. Ezért a tanárok teljes számán kívül az életkoruk eloszlása is fontos tényező. Ilyen típusú kémiatanári korfákat az Oktatási Hivatal három alkalommal is közölt, ezek 2017-ben, 2021-ben és 2022-ben az október 1-jei állapotot tükrözték. Az ezekből készített tanári korfákat mutatja be a 3. ábra. Itt meg kell jegyezni, hogy 2018 elején ezt a korfát 545 válaszadó tanár révén internetes felméréssel is alátámasztottuk.

A 2021-es és 2022-es korfa részletes elemzése igen meglepő mértékű fluktuációkat mutatott ki az egyes születési évszámú aktív kémiatanárok számában a két egymást követő évben (Lente 2024). Emellett az is érthetetlennek tűnt, hogy a kémiatanárok teljes száma egy év alatt mindössze hússzal csökkent, noha a nyugdíjazási kort ennél lényegesen többen érték el, s a 30 évesnél fiatalabbak utánpótlása pedig csekély volt. Ugyanez a különbség az adatbázisban 2017-ben és 2022-ben szereplő kémiatanári



3. ábra. Kémiát tanító tanárok korfája 2017-ben, 2021-ben és 2022-ben
 Forrás: közérdekű adatigénylések az Oktatási Hivataltól, saját szerkesztés

létszámok között 378, ami nagyjából fele annak, amellyel magából a korfából következően ennek csökkennie kellett volna. Ezekre a furcsaságokra a legkézenfekvőbb magyarázat az, hogy az Oktatási Hivatal adatai nem a kémiantanárok, hanem a *kémiát tanító* tanárok számát mutatják. Sok iskolában nincsen kémia szaktanár, ezért a „kémiaórákat” megfelelő szakképesítés nélküli pedagógusok tartják. Közöttük a fluktuáció sokkal nagyobb lehet, mint a tényleges kémiantanárok között. Ezt az értelmezést megerősíti, hogy 2017-ben az adatsort az Oktatási Hivatal még „Kémiát tanító pedagógusok korfája” címmel adta ki. Így a statisztikai nyilvántartás módja lehetetlenné teszi azt, hogy a közoktatásban dolgozó, szakképzett kémiantanárok számáról hivatalos forrásból adathoz lehessen jutni.

2025-ben másféle kísérlet is történt a szakképzettség kérdésének tisztázására. Ekkor a következő kérdést küldtük be közérdekű adatigénylésként (Lente 2025): A közoktatásban a kémia tantárgyat oktató tanároknak milyen hányadának van kémiatanári képzettsége (a legutóbbi elérhető adatok szerint)? Az erre kapott rövid választ érdemes szó szerint idézni:

„Az Oktatási Hivatalhoz (a továbbiakban: Hivatal) 2025. 02. 10. napon érkezett megkeresésére hivatkozva tájékoztatom, hogy az Alkotmánybíróság 13/2019. (IV. 8.) AB határozatának értelmében az adatkezelő – kizárólag a közérdekű adatigénylés teljesítése érdekében – nem köteles adatgyűjtésre, illetve az általa kezelt adatok összevetése útján új, minőségileg más adat, adatsor előállítására.

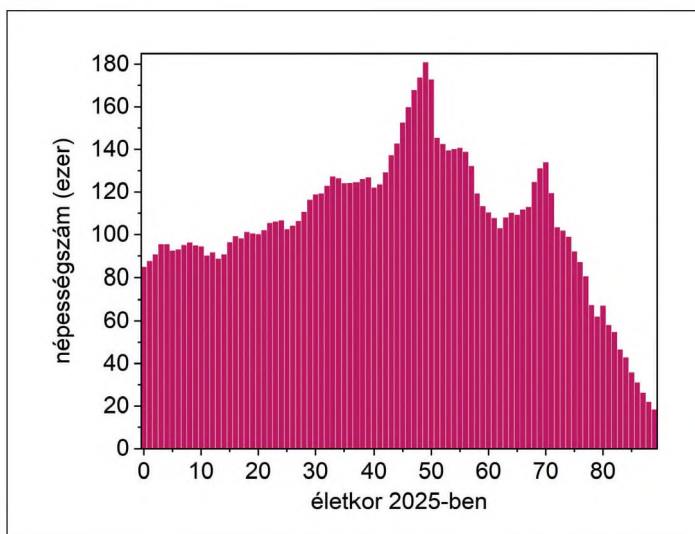
Tájékoztatom, hogy megvizsgáltuk az Ön által benyújtott adatigénylést. Az Ön által megkért adatok elemzői tevékenységet igényelnek, ilyen formában nem

állnak rendelkezésünkre. Az AB határozat értelmében Hivatalunk nem végezhet elemzői tevékenységet, mivel erőforrásaink a hivatali működéshez szükségesek. Fentiekre tekintettel tájékoztatom, hogy adatigénylését Hivatalunk nem tudja teljesíteni.” (Lente 2025)

Holtzer Péter, a Természettudományos Oktatásért Szabó Szabolcs Emlékére Közhasznú Alapítvány alapító elnöke 2024 őszén a *Válasz Online* hasábjain így fogalmazta meg a lényegét (Holtzer 2024): „Félte őrzött hétepcséses titok, hogy valójában hányan is vannak pontosan a pályán.” Ugyancsak Holtzer Péter jegyezte meg egy 2025 februárjában Szolnokon rendezett kémia tanári szakmai napon, hogy a Szabó Szabolcs Alapítvány tartja a kapcsolatot a *Nógrád vármegyei kémia tanárral*. Az egyes szám nem tévedés.

Mindezekkel a súlyos fenntartásokkal együtt is észre lehet venni egy csekély, de valós különbséget a 2017-es és 2021–2022-es adatok között: az utóbbi korfákban kicsi, de a 2017-eshez képest számottevő csúcsként kémia tanárok jelentek meg a 30 év alatti korosztályban. Ez az osztatlan tanárképzés visszaállításából fakad, amelynek a hatása szerény ugyan, de a megelőző évekhez képest mégiscsak siker.

A helyzet tarthatatlanságát példázza, hogy míg 2017-ben a kémiát tanító legidősebb pedagógus 77 éves volt, addig 2021-ben négy, 2022-ben pedig már kilenc tanár volt ennél is idősebb. Az eddig bemutatott adatokat érdemes a teljes népesség létszámával összevetve is megvizsgálni. Ezért a 4. ábra Magyarország lakosságának 2025-ben érvényes életkori összetételét mutatja.

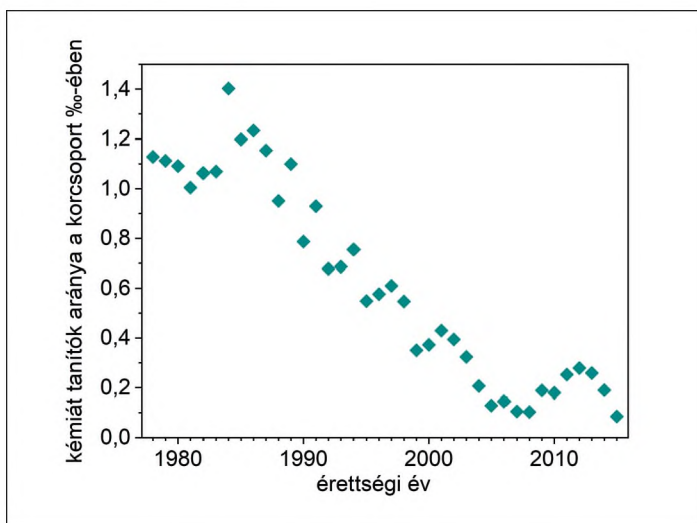


4. ábra. Magyarország népességének korfája 2025-ben
Forrás: <https://www.ksh.hu/interaktiv/korfak/orszag.html>
(Letöltés: 2025. március 22.), saját szerkesztés

Az egyik lényeges megfigyelés a 4. ábrán az, hogy a 18–25 évesek között elég stabilan 100 000 körüli az ugyanabban az évben születettek száma. Ezt összehasonlítva az 1. ábra adataival olyan következtetést lehet levonni, amely a közoktatás kémia tantárgyára nézve alapvető fontosságú: egy-egy évben a 18. életévüket betöltők mintegy 3%-a tesz érettségit kémiából. Vagyis 97% számára a kémia nem tartozik a fontos tantárgyak közé. Ezt a tényt az általános és középiskolai kémiatanításnak sokkal hangsúlyosabban figyelembe kellene vennie, mint ahogy azt manapság teszi.

Az is látható a népességi adatokból, hogy a kémiai szakokra beadott egyetemi jelentkezések 2011 után bekövetkezett jelentős visszaesését nem a pályaválasztó korosztályok létszámának csökkenése okozta. Az utolsó ilyen jelentős, mintegy 15%-os csökkenés a 2010-et megelőző néhány évben történt, érdekes módon ennek hatása a kémiából érettségizők számán nem látszik a 2. ábrán.

A teljes népességre vonatkozó életkori adatokat és a 3. ábrán látható, 2022-es tanárkorfát összevetve az is kiszámolható, hogy egy-egy korosztály mekkora hányada dolgozik kémiatanárként. Ilyen elemzést mutat be az 5. ábra. A vízszintes tengely a korosztály érettségi évét mutatja.



5. ábra. A 2022-ben kémiát tanító tanárok aránya (ezrelékben) korcsoportjukon belül az érettségi évük függvényében

Forrás: saját szerkesztés, 3. és 4. ábrák adatainak összehasonlító elemzése

Ez az adatsor foglalja össze legjobban a kémiaoktatást jellemző fokozatos enyészetet: az 1980-as évek közepét követő 20 év során az arányszámban a csökkenés még a 90%-ot is meghaladta! Az ábra arról tanúskodik, hogy a folyamat már a rendszerváltás előtti években elindult, viszont ennek az észlelhetőségét az abszolút képzési számokban a Ratkó-unokák korosztályának demográfiai hegye jelentősen tompította. A magyar egyetemi kémiaoktatásban dolgozó vezetők számára azonban már az 1990-es évti-

zed végére világosnak kellett lennie, hogy súlyos baj van. Mint ahogy arról már volt szó, a 2008 utáni csekély növekedés minden bizonnyal az osztatlan tanárképzés újra bevezetését kísérő reklámkampány, illetve ösztöndíj hatását mutatja, de az amúgy is csekély visszafordulás már 2015-re lecsengett.

A korfaadatok bemutatásánál már kiemeltük, hogy az aktív kémiatanárok számának nyilvántartási módja megnehezíti a valós folyamatok nyomon követését. Ugyanez – ha lehet, még nagyobb mértékben – tetten érhető a kémiatanárok felvételi számainak hivatalos közléseiben is. Több évben is előfordult már, hogy a napisajtóban jelentős hír lett a kémiatanári képzésbe jelentkezők csekély száma. Erre a kormányzati kommunikáció gyakran hihetetlen adatok közlésével válaszolt. Ennek kulcsa az, hogy ezekben a hivatalos közlésekben nem tesznek különbséget a nappali tagozatos és a levelező képzések között. Az valóban tény, hogy a 2020-as években a különböző levelező kémiatanár-képzésekre évi száznál is többen jelentkeznek. Azonban ezen hallgatók nagy része már tanulmányaik elkezdésekor is tanárként dolgozik, tipikusan több éve tanítja is a kémiát – szakképesítés nélkül. Ebben a cikkben ugyan nincsenek adatok erről, de nemcsak kémiatanárból van egyre nagyobb hiány, hanem általában tanárokból is. Így összességében ezek a jelentkezők a munkaerőhelyezeten nagyon keveset változtatnak, például a 3. ábra korfaadataiban már diplomaszerezésük előtt is szerepeltek.

A közoktatásbeli tehetséggondozás felmérésének kézenfekvő módja az iskolai kémiaversenyek elemzése. Általánosságban érvényes, hogy minden évfolyamon megvan a nagy hagyományú, általában területi alapon szerveződő, többfordulós tanulmányi verseny, amelyek valamelyest mutatják ugyan a hanyatlás jeleit, de ez a visszaesés se nem annyira nyilvánvaló, se nem annyira súlyos, mint az a többi típusú adatban látható. A hetedik és nyolcadik osztály számára a Hevesy György Kárpát-medencei Kémiaverseny ez a verseny, amelyet a Magyar Természettudományi Társulat gondoz. Ezt a 2024–2025. tanévben már 36. alkalommal hirdették meg.

A kilencedik és tizedik osztályosok számára az Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaverseny szerepe hasonló, ennek országos döntőjét 2025 áprilisának végén már 57. alkalommal rendezték meg a Debreceni Egyetemen. A szervező a Magyar Kémikusok Egyesülete. Ennek a nagy múltú versenynek érdemes még néhány mondatot szentelni. Az érintett 9. és 10. osztályban a gimnáziumokban – ma még – mindenhol kötelező a kémia tantárgy. A verseny háromfordulós: az iskolai I. fordulón legjobban szereplők vármegyei versenyre jutnak, ahol elméleti feladatok mellett már laboratóriumi rész is van. Az országos döntő a magyar kémiaoktatás egyik legnagyobb közösségi eseménye, 200-nál valamivel több diák és közel 100 tanár vesz rajta részt.

Az Irinyi-versenyen a közelmúltbeli évtizedekben zajló negatív változások lenyomata is megjelenik. Az egyes fordulókban kitűzött elméleti feladatok nehézsége egyértelműen csökkent az évek múlásával, s közben a gondolkodtató, nem a közvetlen iskolai tananyagra épülő problémákkal szembeni tanári ellenállás megnövekedett. A versenyen évfolyamok és az oktatási intézmény típusa szerinti kategóriák vannak. Tíz éve még volt III. kategória, ahová a 9. és 10. évfolyam olyan szakkimnáziumi vagy szakközépiskolai tanulói tartoztak, akik egy vagy két évig tanulják a kémiát. Miután

több egymást követő évben nem volt ilyen versenyző, az 53. versenyen, a 2020–2021. tanévben ez a kategória megszűnt, ennek oka az, hogy ezekben az iskolákban nincs kémiaóra. A 2025-ös tavasz negatív meglepetése az volt, hogy Nógrád vármegyében nem sikerült vármegyei fordulót szervezni („Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaverseny” 2025). 2024-ben ez a rendezvény még ötfős volt. Az Irinyi-verseny nyilvános adatai között a felkészítő tanárok neve is szerepel. A versenybizottság megkísérelte felvenni azzal a három tanárral a kapcsolatot, akik a 2024-es vármegyei forduló diákjait tanították. Két esetben érkezett visszajelzés: mindkét kémiatanár nyugdíjba ment 2024 őszére.

A 11. és 12. osztályos korosztályok számára az Országos Középiskolai Kémiaverseny jelenti a fő megmérettetési lehetőséget. Ez is háromfordulós, a döntője viszont kevés közösségi élményt ad: egy szombati napon Budapesten kell a laborfeladatokat teljesíteni, s a résztvevők száma sokkal kisebb, mint az Irinyi-verseny III. fordulójában. Ez a verseny a Középiskolai Kémiai Lapok levelező pontversenyével együtt a Nemzetközi Kémiai Diákolimpia magyar válogatójának belépőjét is jelenti. Ezzel a világméretű versennyel érdemes kicsit részleteiben is foglalkozni, mert 2025-ben az Egyesült Arab Emírátsokban már 57. alkalommal rendezik meg, s Magyarország a három alapító ország egyike volt, így jelenléte a kezdetektől folyamatos.

Az olimpián minden ország négy diákot indíthat. A hivatalos verseny egyéni jellegű, nincs országok közötti vetélkedés jellege. Rajta a diákok legjobb mintegy 10%-a arany, a következő 20%-a ezüst, az ezt követő 30%-a pedig bronzérmeket kap, ezért az eredményességét az elnyert érmek számán keresztül követni lehet. Az 1. táblázat mutatja a Magyarország csapata által elnyert elismerések számát az elmúlt harminc évben. Ezen az időtávon könnyen észrevehető az eredményesség folyamatos visszaesése, bár amíg ez csak az aranyérmek számának csökkenésében mutatkozik meg, addig nincs ok a vészharangot kongatni.

1. táblázat. A magyar csapat érmeinek száma a Nemzetközi Kémiai Diákolimpián

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
arany	1	0	2	3	2	2	0	1	2	2
ezüst	1	4	1	0	2	2	3	1	0	1
bronz	2	0	1	1	0	0	1	2	1	1

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
arany	1	0	1	1	1	2	1	0	2	0
ezüst	0	2	3	3	2	2	2	4	2	3
bronz	3	2	0	0	1	0	1	0	0	1

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
arany	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
ezüst	1	4	4	1	2	1	2	3	3	2
bronz	1	0	0	2	2	3	2	1	0	2

Forrás: <http://olimpia.chem.elte.hu/>

Az olimpiáról érdemes azt is leírni, hogy hazánk súlya és szerepe messze fontosabb rajta, mint azt akár a népességi, akár a tudományos-technológiai háttér indokolná. Magyarország legutóbb 2008-ban rendezte meg a versenyt, azóta viszont kétszer, 2016-ban a grúziai Tbiliszbén és 2024-ben a szaúd-arábiai Rijádban is a feladatokat összeállító és javító tudományos bizottság tíznél több tagja Magyarországról érkezett. Emellett a rendezvény mintegy tíztagú vezető testületének (Steering Committee) rendszeresen van magyar tagja, aki több évben az elnöki feladatokat is ellátta („International Chemistry Olimpiad” d. n.).

A nemzetközi kémiaversenyek közül meg kell még említeni az eredetileg szovjet gyökerű Nemzetközi Mengyelejev Kémiai Diákolimpiát, illetve a Nemzetközi Kémiai Tornát. Az utóbbit a közelmúltban alapították, az előbbin pedig a magyar részvétel nem túl régi, ezért hosszabb időtávon egyelőre nem alkalmasak következtetések levonására.

Az eddig felsoroltakon kívül még számos országos és regionális jelentőségű kémiaverseny létezik, ezek közül a teljesség igénye nélkül ragadunk ki néhány példát. A Kárpát-medencei Müller Ferenc Kémiaversenyt 2025-ben 11. alkalommal rendezte meg a Szekszárdi I. Béla Gimnázium. A szolnoki székhelyű Curie Tehetséggondozó és Oktatásfejlesztő Közhasznú Alapítvány gondozza a Curie Kémia Emlékversenyt, amelyet 2025-ben másodszor egészített ki a Curie Kémia Kísérleti verseny. Mintegy évtizedes múltja van a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem által meghirdetett Oláh György Országos Középiskolai Kémiaversenynek. A matematikát, fizikát és kémiát egyesítő Dürer versenyt 2025-ben 18. alkalommal rendezték meg a miskolci Földes Ferenc Gimnáziumban. A bonyhádi Petőfi Sándor Evangélikus Gimnázium kémiát és biológiát egyesítő, általános iskolásoknak szóló regionális versenye a Kemiózis, amelyet döntőjének televíziós kvízműsorokat idéző rendezési módja tesz egyedivé.

A tényszerű adatok közé tartozik még, hogy az elemzett időszakban több lépésben csökkent a közoktatásban a kémia tantárgy oktatására kötelezően fordítandó óraszám. A 2020-ban bevezetett Nemzeti Alaptanterv több szempontból is határkő volt (Bárány 2020, 290). Egyrészt a 7. és 8. osztályban már nem teszi kötelezővé kémia nevű tantárgy oktatását, de mindezt úgy, hogy az ott elsajátítandó ismeretanyagot enélkül is tanítani kell(ene) egy integrált természettudomány tantárgy részeként. Másrészt a gimnáziumok 9. és 10. osztályában összesen heti három órának megfelelő kémiatanítást ír elő, ami folytatta az előző évek csökkenő tendenciáját. Azt már jóval kevesebben szokták megemlíteni, hogy ezen alaptanterv szerint a 11. évfolyamon azon tanulóknak, akik nem tanulnak emelt óraszámú vagy fakultáción természettudományos tantárgyat, egy jelenségek vizsgálatán alapuló, komplex szemléletmóddal oktatott, a természettudományos műveltséget bővítő integrált természettudomány tantárgyat vagy a fizika, kémia, biológia, földrajz tantárgyak egyikét kell tanulniuk heti két óra időkeretben.

Gondolatok a jelenlegi helyzet okairól

Ebben a cikkben ez a pont az, ameddig tényeket lehetett bemutatni. A már bemutatott jelenségek mögöttes okairól csak merengeni lehet, ezek a szerző személyes véleményét tükrözik majd. Meg kell jegyezni, hogy az eddig bemutatott adatok egyes elemei már időről időre megjelennek a magyar kémikustársadalom belső fórumain. A Magyar Kémikusok Lapja rendszeresen foglalkozik a magyar középiskolák és egyetemek előtt álló kihívásokkal (Bárány 2020; Dávid 2021; Kiss 2021; Lente 2021; 2024; 2025; Markovics 2021; Németh 2021; Szalay 2021), s a kémiaoktatás sanyarú helyzete az elmúlt években már többször is felkeltette a napisajtó figyelmét (Borbás 2022; Holtzer 2024).

A magyar kémiaoktatás kitartó lejtmenetének két alapvető oka van. Az első és kétségtelenül fontosabb ezek közül a magyar társadalom hozzáállása az oktatáshoz és ezen belül a kémia tudományához. Ezt a hozzáállást remekül példázza az a néhány mondat, amit Novák Katalin családokért felelős egykori tárca nélküli miniszter, majd köztársasági elnök 2025 februárjában egy angliai, családokra összpontosító konferencián mondott:

„one time when we went to the forest and like for an hour and a half, we were watching the ants marching, carrying things, building things. I think only those who experienced this watching something with the child's eyes [...] and really taking your time just watching something so simple and still so perfect. That is something that really teaches you biology, not only what you teach at school.” (Novák 2025)

A szöveg szándékosan eredeti nyelven, a szövegkörnyezettel együtt szerepel itt, hogy az idézés a lehető legkevésbé torzítsa. A beszélő azon ritka politikusok közé tartozik Magyarországon, akik tudatosan kerülnek a társadalmat megosztó üzenetek megfogalmazását. A szövegkörnyezetből láthatóan itt sem az oktatásról akart rosszat mondani, hanem a családok értékéről jót. Mégis, a megfogalmazott gondolat végeredményében abszurd lett: egy családi erdei séta alatt a gyermekek többet tanulnak biológiából, mint az iskolában. Mindez jól tükrözi a magyar társadalom nagy többségének azt a véleményét, hogy az iskola egyfajta államilag fenntartott gyermekmegőrző, amelynek ezen túl más hasznos funkciója nincsen. Ez a nézet valamennyire a közoktatás tömeges jellegéből önmagában is következik: az az értékes, ami egyedi, amiből nincs sok. Tehát a tömeges közoktatás nem lehet nagy érték.

Ez a társadalmi hozzáállás az oktatás egészével szemben tapasztalható. Ami a kémiának a külön nehézségeket okozza, az a vegyi vagy mesterséges anyagokkal szembeni, nemegyszer üzleti érdekek által is táplált, minden tudományos alapot nélkülöző előítéletek összessége. Az ilyen társadalmi jelenségek ellen semmit nem lehet tenni, ezek külső adottságok. Szokás azt a megoldást javasolni, hogy ismeretterjesztéssel és oktatással ezt a hozzáállást nagy tömegekből ki lehet nevelni, de ebben a nézetben van

egy súlyos ellentmondás: Hogyan is lehetne oktatással megváltoztatni azt az elterjedt nézetet, hogy az oktatásnak nincs értéke?

A másik probléma viszont a magyar kémikustársadalom belső hozzáállása, amelyet súlyos, de a valóság alapot nem teljesen nélkülöző szavakkal a stratégiai szemlélet teljes hiányaként lehet jellemezni. A tudományfinanszírozás rendszerváltástól kiépülő pályázati rendszere a kitűzött célt elérve a magyar kémiai kutatók nemzetközi publikációs eredményességének látványos erősödését hozta. Az árnyoldalakkal viszont úgy sem foglalkozott senki érdemben, hogy ezek nemcsak megjósolhatók, hanem az első pillanattól kezdve érzékelhetők is voltak. Az egyetemi oktatók megítélésében a publikációs aktivitás kizárólagos szemponttá vált, az oktatói és kutatói szerep közötti ellentétek kiéleződtek, amin az oktatást nem végző, de mégis állami finanszírozású kutatóintézetek létezése tovább rontott.

Az egyetemek finanszírozása már bő két évtizede az alapfeladatok ellátására sem elegendő, így a kutatási pályázatok és azok bevonása a napi működési kiadások fedezésébe létfontosságú kérdés, nemegyszer a jogszabályi keretek feszegetésének árán is. Ez a kényszerpálya vezetett oda, hogy az oktatás az egyetemek létezésének okából a fiatalabb kémikusgeneráció szemében másodlagos, már-már egyenesen káros és kerülendő tevékenységgé fajult, amelyre mind a személyes erőfeszítés, mind az anyagi források fordítása jobb esetben is szükségtelen áldozat, rosszabb esetben pedig öngyilkos virtus. Ennek a felfogásnak az első komoly áldozata a korábban minden magyar felsőoktatási intézményben művelt kémiai szakmódszertan lett.

Az egyetemi kémiai szakmódszertan *de facto* megszűnése olyan időszakban történt, amikor minden korábbinál nagyobb szükség lett volna (és lenne ma is) rá, hiszen a rendkívül gyors információtechnikai változások gyökeresen átalakították az oktatás feladatát. Az egyetemeken jelenleg tanított Z generáció szociológiai és pszichológiai sajátágaiban olyan mértékben eltér a korábbiaktól, hogy a korábban hasznos oktatási módszerek néhány év alatt elavulttá váltak. Az egyetemi képzés ilyen szempontú megújításának igénye eddig egyedül a Z-szakos tanárképzésben jelent meg, de ezt a magyar kémikustársadalom közel egyöntetűen elutasítja.

Az egyetemen kémiát tanító szakemberek nagy része általában sem nyitott a szakmódszertani kutatások tapasztalatainak befogadására. A néhai neveléstudományi kutató, Csapó Benő fogalmazta meg több ízben is: olyan szakemberek, akik a saját kutatási gyakorlatukban rutinszerűen és magas színvonalon alkalmazzák a tudományos módszert, teljességgel elvetik és értéktelennek tartják ugyanezt a metodikát, ha az oktatásról van szó.

Napjaink égető oktatási kérdése a Z generáció egyik legfontosabb pszichológiai jellemzője, a vizsgaszorongás (Németh 2022). Emiatt a mai egyetemisták számonkéréseken rendszeresen nem tudnak a valós tudásukat tükröző teljesítményt nyújtani. Ezt a tényt nem megérteni kell, nem is érzelmileg azonosulni vele, hanem – a természeti törvényekhez hasonlóan – objektív valósággként elfogadni. A jelenség legalább részben eredményes kezelésére vannak tudományos kutatással alátámasztott javasla-

tok is, de az egyetemi oktatók jelentős része még az ilyen információk megismerését is elfecsérelt időnek tartja.

Persze mindez nem kizárólag az egyetemek felelőssége. A Magyar Tudományos Akadémia – amelynek szerepe láthatóan visszaszorulóban van ugyan, de az egyetemek számára jelenleg is útmutató – saját használatra annyira kirekesztően határozza meg a tudományos tevékenység fogalmát, hogy abban tudománypolitikának, oktatásnak, versenyszervezésnek vagy ismeretterjesztésnek semmilyen helye nincsen (Lente 2020). Ebből következően ez a felfogás uralkodik a magyarországi kémiai doktori iskolákban is. A tanítás iránt elkötelezett egyetemi oktatók számára az egyetlen lehetőség az, ha a doktori értekezésüket számukra is majdnem érdektelen, bevallottan kizárólag a fokozatszerzés miatt végzett kutatások alapján írják, mert a túlnyomó többség csak ilyesmit tekint „valódi” kémiai kutatásnak. A habilitációnál már légmentes kapuzár működik. Az eljárás eredeti célja a jelölt oktatói képességeinek bizonyítása volt. Ehhez képest a tudományos publikációs elvárásokhoz viszonyítva az összes többi komolytalan benne. Az eljárásban a „tanterminek” nevezett előadásokon sokszor nincs is jelen valódi egyetemi hallgató.

Azt nem lehet állítani, hogy semmiféle válaszlépés nem történt a problémák orvoslására. A korábbi részekben volt már arról szó, hogy a három nagy hagyományú korosztályos kémiai versenyen kívül ma már számos más megmérettetési lehetőség létezik a tehetséges tanulók számára, mindet az elmúlt harminc évben alapították, tehát akár a hanyatlásra adott válaszként is felfoghatók. A Magyar Tudományos Akadémia 2016-ban tantárgy-pedagógiai pályázati programot indított el, s a 2021-es kiírásban a folytatásról is gondoskodott. Ennek támogatásával egy kémiai kutatóműhelyben is végeztek nagy léptékű, szakmódszertani kutatásokat (Szalay et al. 2021; Szalay–Tóth–Borbás 2021; Szalay et al. 2022; Szalay et al. 2023).

Válaszlépésnek tekinthető az is, hogy számos egyetemen bevezették a kémia szakokat megkezdő hallgatók szintfelmérését, és ennek eredményei alapján az olyan kémiai alapismeretek oktatását, amelyeket a képzés megtervezésekor már eleve ismertnek feltételeztek. Szerencsétlen módon ezekre a tiszteletre méltó erőfeszítésekre a „felzárkóztatás” szót használják, amely komoly negatív értékítéletet közvetít az ebben részt vevő diákok felé. A szóhasználat különösen akkor visszás, ha az egyetemi tanulmányaikat megkezdő diákok akár 80–90%-a is ilyen órára jár.

Sajátos és egyelőre kevésbé tudatos válaszlépés a kémiai magántanárok utóbbi időben tapasztalható térhódítása. A közoktatás hanyatlása piaci rést teremtett a továbbra is nagy társadalmi tekintélyű orvoseképzésre bekerülni vágyók között. Ahogy már volt róla szó, egy ilyen egyedi felkészítés társadalmilag akkor is értékesebbnek tűnne a tömeges közoktatással szemben, ha magát a feladatot az utóbbi is sikerrel el tudná látni.

A kémiatanításban érdekelték jelentős része ugyan nem fogja ezt elismerni, de valójában a mindenkori kormányzat tette a legtöbbet a helyzet kezelésére – a saját eszközeivel. Ezen intézkedések gyakori sajátja, hogy mind kormányzati, mind társadalmi szempontból logikusak, ennek ellenére a tanárok és oktatók ellenkezése és időnként ellenállása is kíséri. Az igazgatásban dolgozó tisztségviselők arra is joggal

panaszkozhatnak, hogy szakmai körök gyakran lehetetlen elvárásokat támasztanak velük szemben. Nem a kormányzat feladata, hogy a pályaválasztó diákok tömegeit a kémiai képzések felé terelje, ezért a magyar kémikustársadalomnak kellene tennie. Rövid idő alatt kémiatanárok százainak elővárazslása vagy a társadalmi meggyőződések megváltoztatása számukra ugyanúgy lehetetlen, mint bárki másnak.

Központi kérdésnek számít a közoktatásban kötelezően kémiára fordítandó óraszám. A hozzáértő kémiatanárok létszámának vesztes csökkenése nagyon is indokolta az eddigi csökkentést. Ha nincs, aki színvonalasan tanítsa a tárgyat, akkor inkább ne is legyen kémiaóra, az iskolában az időt olyasmivel is lehet tölteni, amiből a diákoknak több hasznuk van.

A tanárképzés módszertanának kérdése is rendszeresen újra és újra előkerül, itt az utóbbi időben éppen a romló helyzetre adott válaszingázások nagy száma vált károssá. Számos alkalommal próbálták meg ilyen-olyan adminisztratív úton elérni, hogy a tanárképzésben nagyrészt olyan szakmai információkat tanítsanak az egyetemeken, amelyek a közoktatásban is jól használhatók. Itt a szándék társadalmi haszna megkérdőjelezhetetlen, noha a pontos megfogalmazás gyakran adott támadási felületet. Az alapprobléma onnan származik, hogy a csökkenő hallgatói létszámokat az egyetemek jellemzően tárgyszűkítésekkel kompenzálják, s ilyen esetekben a kis létszámú tanárszakokon oktatott tananyag veszít nagyobb létszámú, más célú képzések igényeivel szemben.

Szintén érthető és hasznos szándék az, hogy a közoktatásban pedagógusként dolgozókat bátorítsák újabb szakmaterületek elsajátítására. A levelező tanárképzéseket jelenleg az állam finanszírozza, a közelmúltban egy gyakori képzési forma esetében még a képzési idő lerövidítését is előírta. Ugyanakkor ez ellenérzéseket szül azon kollégákban, akik nappali tagozaton szereztek kémiatanári diplomájukat: az így elsajátított ismeretek aligha lesznek alaposak. A helyzet összetettségét mutatja az az ironikus tény, hogy az ilyen, rövid ciklusúnak nevezett képzésben részt vevők jelentős része akkor is tartana kémiaórákat, ha nem kezdte volna el a szakot.

Végezetül valós társadalmi érdekeket szolgál az a kormányzati szándék is, amely az egyetemi képzésekben a hallgatói lemorzsolódás csökkentésére próbálja rászorítani az intézményeket. A közoktatásban soha sehol nem buknak diákok tömegesen. Ez rendjén is van, hiszen a szerényebb képességű vagy rossz hozzáállású diákokból akkor is a társadalom felnőtt tagja lesz, ha nem képesek az iskolarendszer elvárásait teljesíteni. Az 1990-es rendszerváltás egyik következménye a felsőoktatás tömegessé válása. Így a felsőoktatás szerepe és feladata megváltozott, de a benne részt vevők jelentős hányada vagy nem tud, vagy nem akar ehhez alkalmazkodni. Ha egy ilyen képzés követelményeit a beiratkozó diákok többsége nem teljesíti, akkor azt ugyan lehet a színvonal biztosítékának tekinteni, de kívülről szemlélve sokkal inkább tűnik oktatási hozzá nem értésnek és negatív társadalmi szerepnek.

Ilyenkor oktatói részről gyakran elhangzik az az érv, hogy valamilyen korábbi oktatási színvonalat fenn kell tartani. Ebben az a furcsán ellentmondásos, hogy a társadalmi változás természetes jelenség, s ennek a 20. századtól tapasztalható felgyorsu-

lásában a fő tényező éppen a természettudományos és technológiai előrehaladás. Az irodalmat tanítók nem panaszkodnak arra, hogy a manapság érettségizők Catullus egyetlen versét sem tudják eredetiben idézni, noha ez száz éve elképzelhetetlen lett volna. Az egyetemi természettudományos oktatás színvonalára még most is az jellemző, hogy a kémia és vegyészmérnök alapszakokon jelenleg diplomát szerző hallgatók az ipari munkaadói igényekhez képest jelentősen túlképzettek. Ennek például az is a következménye, hogy egy kémikusi állásinterjún – ellentétben például egy programozóival – szinte soha nem törekednek a szakmai felkészültség tesztelésére. Hasonlóképpen a vegyipar már legalább harminc éve nem tesz különbséget vegyész és vegyészmérnök végzettségű jelentkezők között, a két alapszak megkülönböztetése jó ideje értelmét veszítette.

Főleg az egyetemi vezetők körében elterjedt nézet, hogy a jelenlegi állapotot csakis az elégtelen anyagi források okozzák. Ezt politikai döntéshozók előtt hangoztatni akkor sem lenne tanácsos, ha igaz lenne. Az ő szemszögükből nézve a dolgot: minden bizonnyal számos példát tudnak említeni arra, hogy hosszú távon láthatóan fenntarthatatlan helyzetek megszüntetésére közpénzekből forrást adtak, de ezt az egymásnak ellentmondó személyes vagy intézményi érdekek sűrűjében végül is a helyzet bebetonozására fordították. Életszerűbb az, ha egy már elkezdett és az első eredményeket is felmutató fejlesztési program folytatásához kérnek az érintettek anyagi támogatást.

Változtatási javaslatok

A kémiaoktatás társadalmi szerepének növeléséhez megfelelő programot kell kidolgozni. A cikk hátralévő része javaslatokat tesz erre annak ellenére is, hogy ezek jelentős része sérti a kémiaoktatásban részt vevők egyedi érdekeit. Közhely, de igaz: a közérdek nem mindenkinek az érdeke. A javaslatok nem arról szólnak, hogy milyennek kellene lennie egy jó kémiaoktatásnak, hanem arról, hogy *mi valósítható meg a jelenlegi erőforrásokkal*.

A legfontosabb az, hogy a kémiát tanító és kutató magyar szakemberek körében gyökeres szemléletváltásra van szükség. Le kell számolni azzal a valóságtól teljesen elszakadt nézettel, hogy Magyarország jövője vegyipar és kémiaoktatás nélkül elképzelhetetlen – ez a tévhit az elmúlt bő három évtizedet jellemző vágyvezérelt passzivitás egyik fő mentsége volt. A kémiai szakterületeken dolgozók számára bármennyire is magától értetődő az ilyen ismeretek és technológiák társadalmi haszna, ezt folyamatosan bizonyítani is kell a kívülállóknak. A kémiaoktatás és kémiai ismeretterjesztés fenntartása a hazánkban élő vegyésztársadalom elsőrangú érdeke, így feladata is. Ehhez a következő intézkedéseket lehetne megfontolni:

1. A közoktatásban le kell mondani a gimnáziumokban mindenki számára kötelező kémia tantárgy oktatásáról, mert nincs hozzá tanár. A természettudományok iránt leginkább fogékony 10%-ra kell összpontosítani. A kémia tantárgyat

olyan kiemelt középiskolákban kell fenntartani, ahol ehhez számottevő laboratóriumi háttér is van, például ahol az Öveges József Program keretei között ilyen építettek vagy felújítottak.

2. A kiemelt programba nem kerülő diákok számára hétköznapi, problémaközpontú természettudományt kell oktatni, de évente a saját iskolájuknak több alkalommal szerveznie kell a kiemelt gimnáziumokba kihelyezett laborórákat. Az ilyen diákok számára intézményesített átjárási lehetőséget kell biztosítani a nagyobb óraszámú természettudományos képzésbe.
3. Jogszabályban kell rögzíteni, hogy a közoktatásban kémiaórát csak megfelelő végzettségű kémiaitanár tarthat. Ha egy intézményben ez nem lehetséges, akkor inkább ne is legyen kémiaórának nevezett időtöltés.
4. A kémiai vonatkozású, általános és középiskolai versenyek szervezőinek állandó, országos egyeztetési fórumot kell szervezni.
5. Az alapszakon meg kell szüntetni a vegyészmérnök–kémia névkettősséget. Egyetlen, kommunikációs szempontból előnyös megnevezésű, hat félév képzési idejű kémiai jellegű alapszakot kell hirdetni, országosan legfeljebb három egyetemen. A képzés anyagát a jelenleginél kevesebb előismeretet feltételezve kell kidolgozni, annak elsősorban az alapvető készségek magabiztos kialakítására kell koncentrálnia, s a tárgyakat a különböző képzőhelyeknek azonos elvek alapján kell oktatniuk. Ezen az alapszakon saját kutatáson alapuló szakdolgozatot nem szabad megkövetelni. Ha ebben a képzésben a felvettek 75%-ánál kisebb hányada szerez a hatodik félév végén diplomát, azt a képzés módszertani problémájának kell tartani és ennek megfelelően kezelni.
6. A kémiával kapcsolatos mesterszakok mind nevükben, mind intézményi elhelyezésükben sokszínűbbek lehetnek az alapszaknál, de csak olyan intézményben, ahol kémiai doktori iskola működik. Az alapszakot oktató intézmények helyzeti előnyét itt úgy kell kompenzálni, hogy minden jelentkezőnek diplomamunka-tématerületet kell megjelölnie, s ennek kidolgozásához egy erre alkalmas kutatócsoport vezetőjének a támogatását felmutatni. A doktori képzésnek a mesterszak természetes folytatásának kell lennie.
7. A kémiaitanárok osztatlan képzését egyetlen intézménybe kell koncentrálni, ahol nincsen az előző pontokban említett alapképzés. Ebben az intézményben újra létre kell hozni szakmódszertan oktatásának kultúráját, egyidejűleg ott ezen a területen nemzetközi mércével is számottevő eredményeket elérni képes kutatócsoportot kell létrehozni, ahol doktori fokozat megszerzésére is lehetőség van.
8. Az egyetemek kémiaoktatással foglalkozó intézeteinek döntő szerepet kell vállalniuk a természettudomány-környezettan kötött tanári szakpár (Z-szak) tanításában és gondozásában.
9. A levelező képzések laboratóriumi jelenlétet nem igénylő részét online módon, az eddiginél jóval nagyobb óraszámokkal kell folytatni, az egyes tantárgyak szintjén országos konzorciumokat kell létrehozni.

10. A felsőoktatási intézményekben létre kell hozni az oktatóprofesszori feladatkört, és az ezen a pályán haladóknak ugyanolyan elismeréseket kell kapniuk, mint a kutatóknak.
11. A Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Osztályának kémiatudományként kell elismernie a kémiatanítás módszertanának kutatását. Az ilyen szakemberek számára lehetővé kell tenni a Bolyai-ösztöndíjra és a Lendület Programba pályázást, illetve észszerű feltételekkel az MTA doktora cím megszerzését.
12. Néhány olyan, Budapesten élő kutatót, akinek ehhez egyaránt van belső készítése és megfelelő adottságai, céltudatosan képezni kell tudománykommunikációs feladatokra. Az ilyen szakembereket folyamatos médiaszereplésre kell buzdítani, s ezt a tevékenységet a tudományos pályafutásuk előrehaladása során is rendszeresen el kell ismerni.

Irodalomjegyzék

- Barány Zsolt Béla (2020). „Az új Nat és a kémia – avagy talán semmi sem tisztán fehér vagy fekete”. *Magyar Kémikusok Lapja*, 75/10, 290–292. <https://doi.org/10.24364/MKL.2020.10>.
- Borbás Barna (2022). „Ha ma nincs elég kémiatanár, legközelebb gyógyszer se lesz – Richter-vezetők kongatják a vészharangot”. *Válasz Online* (2022. szept. 20.). <https://www.valaszonline.hu/2022/09/20/parocza-szantay-holtzer-richter-szabo-szabolcs-alapitvany-kemiaoktatas-interju/>.
- Fejesné Dávid Ágnes (2021). „Kémiatanár-képzés a Debreceni Egyetemen”. *Magyar Kémikusok Lapja*, 76/11, 329–333.
- Holtzer Péter (2024). „Csoda történt a természettudományos tanárképzésben?” *Válasz Online* (2024. okt. 2.). <https://www.valaszonline.hu/2024/10/02/termeszettudomanyos-tanarkepzes-iskola-oktasegyeten-tanarszak-pedagoguskepzes-fizika-kemia/>.
- „International Chemistry Olimpiad” (d. n.). *ICHOSC* (letöltés: 2025. márc. 22.). <https://www.ichosc.org/>.
- „Irinyi János Országos Középiskolai Kémiaverseny” (d. n.). *Magyar Kémikusok Egyesülete* (letöltés: 2025. március 22.). <https://www.irinyiverseny.mke.org.hu/>.
- Kiss Tamás (2021). „Gondolatok a természettudományos oktatásról”. *Magyar Kémikusok Lapja*, 76/11, 344–345.
- Lente Gábor (2020). „Tudomány-e az ismeretterjesztés? Merengések a Természettudományi Közlöny alapításának 150. évfordulóján”. *Magyar Kémikusok Lapja*, 75/7–8, 223–225.
- Lente Gábor (2021). „Feljegyzések az egérlyukból: hogyan jutott ide a magyar kémiaoktatás?” *Magyar Kémikusok Lapja*, 76/11, 327–328.
- Lente Gábor (2024). „Statistikai adatok a kémiaoktatás helyzetéről”. *Magyar Kémikusok Lapja*, 79/6, 170–172.
- Lente Gábor (2025). „Így megy ez”. *Magyar Kémikusok Lapja*, 80/4, 113.
- Markovics Ákos (2021). „Az eltűnt hallgatók nyomában”. *Magyar Kémikusok Lapja*, 76/1, 334–335.
- Németh Lilla (2022). *A vizsgaszorongás mérése és egyéni, illetve társas háttértényezők vizsgálat*. Doktori disszertáció. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Kar.
- Németh Veronika (2021). „Kémiatanárok képzése a Szegedi Tudományegyetemen”. *Magyar Kémikusok Lapja*, 76/11, 336–337.
- Novák, Katalin (2025). „How Hungary Is Turning Around Its Demographic Crisis”. Alliance for Responsible Citizenship Konferencia-előadás. *YouTube* (2025. február). <https://www.youtube.com/watch?v=pen1hB6cewM>. (Az idézett részt lásd 10:00-tól.)
- Szalay Luca (2021). „Új tanárképzés: lebutítás vagy észszerűsítés?” *Magyar Kémikusok Lapja*, 76/11, 338–340.

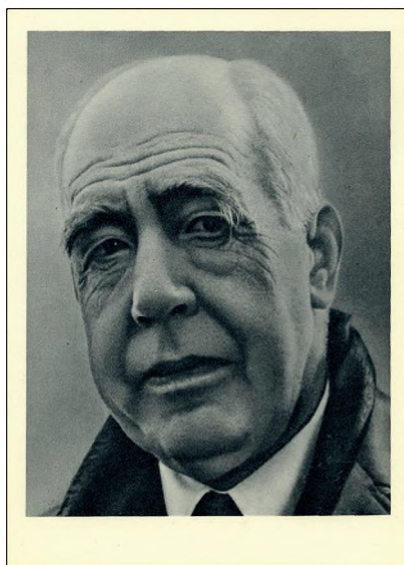
- Szalay, Luca et al. (2021). „Development of Experimental Design Skills – The Final Results of a Longitudinal Study”. *Journal of Science Education*, 22/2, 46–53.
- Szalay, Luca – Tóth, Zoltán – Borbás, Réka (2021). „Teaching of Experimental Design Skills: Results from a Longitudinal Study”. *Chemistry Education Research and Practice*, 22/4, 1054–1073. <https://doi.org/10.1039/D0RP00338G>.
- Szalay Luca et al. (2022). „A kémia tantárggyal és a természettudományos kísérletekkel kapcsolatos attitűdök változása egy kutatásalapú természettudomány-tanításhoz kapcsolódó longitudinális vizsgálat során”. *Új Pedagógia Szemle*, 72/3–4, 49–73.
- Szalay, Luca et al. (2023). „Scaffolding of Experimental Design Skills”. *Chemistry Education Research and Practice*, 24/2, 599–623.

Szabados László képeslapgyűjteményéből



Jean Frédéric Joliot, későbbi nevén Frédéric Joliot-Curie (1900–1958) Nobel-díjas francia kémikus, atomfizikus, a Magyar Tudományos Akadémia tiszteleti tagja (1953)

Forrás: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/16633/>



Niels Henrik David Bohr (1885–1962) dán fizikus, az atomszerkezet és a kvantummechanika kutatója. 1922-ben megkapta a fizikai Nobel-díjat. Az MTA 1938-ban tiszteleti tagjává választotta

Forrás: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/16632/>

KÜLHONI BIZOTTSÁGOK

A Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács The Hungarian Academic Council in Slovakia

Mészáros András

az MTA külső tagja, a Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács elnöke, Pozsony
bandimeszaros@azet.sk

Összefoglalás

Az alábbi áttekintés a Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács 2013-ban kezdődő történetével és tevékenységének fő területeivel ismerteti meg az olvasót. A Tanács fő tevékenységi formái: tudományos konferenciák szervezése; a társintézmények gesztorálásában megvalósuló tudományos rendezvények támogatása (és azokban társszervezőként való részvétel); a mai Szlovákia területéhez születésük, iskolázottságuk vagy tevékenységük révén kapcsolódó volt MTA-tagok visszahozatala a kulturális tradícióba emléktáblák állítása révén; a fiatal kutatók tevékenységének figyelemmel kísérése és tevékenységük díjazása; kapcsolattartás a magyarországi területi bizottságokkal; könyvkiadás. Mindezeket a formákat konkrét példákon keresztül mutatja be az írás.

Abstract

This overview provides an introduction to the history of the Hungarian Academic Council in Slovakia since 2013 and its main areas of activity. These activities include organizing scientific conferences; supporting (and co-organizing) scientific events sponsored by partner institutions; installing memorial plaques for former members of the Hungarian Academy of Sciences with links to present-day Slovakia through birth, education, or scientific activity; monitoring and rewarding the work of young researchers; liaising with regional committees in Hungary; and publishing books. All of these activities are illustrated by concrete examples.

Kulcsszavak: tudományos konferenciák, emléktábla-állítás, fiatal kutatók díjazása, kapcsolattartás, könyvkiadás

Keywords: scientific conferences, plaques, awards for young researchers, networking, publishing

A Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács (a továbbiakban: SZMAT) 2013. november 11-én alakult meg Somorján a Fórum Társadalomtudományi Intézet székházában. Ez volt szervezetünk első közgyűlése is, amelyen megválasztottuk a választmányt, az elnökséget és az egyes szakosztályok vezetőit. A megalakulás fő hazai kezdeményezője Bauer Győző, az MTA külső tagja volt, aki haláláig a szervezet tiszteletbeli elnöke tiszttel is betöltötte. A SZMAT 2022-ig, amikor polgári társulássá alakult, a Fórum Intézet égisze alatt működött. A változás alapvetően nem változtatta meg a SZMAT

belső szerkezetét, csak nagyobb önállóságot biztosít saját kezdeményezések megvalósításához. A SZMAT szervei: a közgyűlés, a választmány és az elnökség. Ezek közül a választmány és az elnökség megbízási időszaka négy év. A 17 tagú választmány a társulás koordináló és reprezentatív szerve, mondhatnánk, a SZMAT tudományos tanácsa. Állandó tagjai az MTA szlovákiai külső tagjai (jelenleg heten), mellettük pedig az általánosan elismert fő tudományterületek képviselői. A választmány saját sorából választja meg az elnökség tagjait, azaz az elnököt, az egy-egy tudományterületet képviselő három alelnököt és a tudományos titkárt. Az elnökség a társulás végrehajtó szerve, amely tevékenységéért a közgyűlésnek felel. A társulás tevékenységét két közgyűlés közötti időszakban irányítja. A SZMAT első elnöke Dusza János, az MTA külső tagja volt, 2018-tól regnáló elnöke pedig Mészáros András, ugyancsak az MTA külső tagja.

Egy-egy határon túli szervezet működését meghatározza a tagságot alkotó egyének szakmai identitása, amelynek a szlovákiai specifikuma a tagok jelentős intézményi kötődése és beágyazottsága. A jelenleg is aktív szlovákiai magyar kutatók, vagyis a SZMAT tagságának zöme szlovák vagy magyar tudományos, illetve felsőoktatási intézmény alkalmazottja. Ezek közül többen a transznacionális jellegű tudományos együttműködésben és szakmai társulásokban is részt vesznek. A szlovák, a nemzetközi vagy a magyar közegben való tevékenység rajta hagyja a kézjegyet a kutató identitásán és szolidaritásán. A dilemma itt főként az, hogy ezek az intézményesült kutatások teljesen kívül állnak a SZMAT tevékenységi körén, és csakis a SZMAT-tagság révén kapcsolódunk hozzájuk, például úgy is, hogy a Fiatal Kutatói Díj odaítélésével szemmel tartjuk és értékeljük ezt a tevékenységet.

Az utóbbi években ezért szorosabbra fűztük kapcsolatainkat a létező szlovákiai magyar felsőoktatási intézményekkel. Így a komáromi Selye János Egyetemmel, a nyitrai Konstantin Filozófus Egyetem Közép-európai Tanulmányok Karával, a pozsonyi Comenius Egyetem BTK Magyar Nyelv és Irodalom Tanszékével, valamint azokkal a kutatási programokkal és társulásokkal (példának a pozsonyi fiatal medikusokat összefogó klubot említhetjük), amelyek vagy a hungarikumok területét érintik, vagy pedig a nemzeti kulturális identitás megtartásában érdekeltek, és velük koordinálva fejtiük ki tevékenységünk egy részét.

A kezdeti útkeresés, valamint a mindannyiunkat negatívan érintő Covid-járvány időszakát leszámítva a SZMAT a következő fő területeken jeleníti meg a szlovákiai magyar tudományosságot: tudományos konferenciák szervezése; a társintézmények gesztorálásában megvalósuló tudományos rendezvények támogatása (és azokban társszervezőként való részvétel); könyvkiadás; a mai Szlovákia területéhez születésük, iskolázottságuk vagy tevékenységük révén kapcsolódó volt MTA-tagok visszahozatala a kulturális tradícióba emléktáblák állítása révén; a fiatal kutatók tevékenységének figyelemmel kísérése és tevékenységük díjazása; kapcsolattartás a magyarországi területi bizottságokkal (jelenleg a Miskolci, illetve a Veszprémi Területi Bizottsággal). Mindezek mellett arra is ügyelünk, hogy az évi közgyűlés színhelyéül (mivel a SZMAT-nak nincs székháza és reprezentatív ingatlanja) Szlovákia más-más régióit

válasszuk ki, hogy az ott lakó SZMAT-tagok mindennapjaihoz közelebb kerüljünk. A kezdeti somorjai találkozók után ezért közgyűlést tartottunk Alsó-Sztrégován (ezen a közgyűlésen részt vett Lovász László, az MTA elnöke is, aki előadást tartott a jelenlevőknek), Kassán, Nyitrán, és a Szlovák Tudományos Akadémiával való szorosabb együttműködés kezdeményezéseként az SZTA szomolányi konferencia-központjában, a volt Pálffy-várkastélyban.

Konferenciák, szimpóziumok

2015. november 26-án (közgyűlésünkkel párhuzamosan) tartottuk meg első konferenciánkat „A magyar tudományosság Szlovákiában, 2015” címmel. Ez a találkozó keresztmetszete kívánt lenni a szlovákiai magyar tudományosságnak. A SZMAT elnöksége által felkért előadók előadásukban az általuk képviselt tudományterületen (genetika, szociológia, földtudományok, irodalomtudomány, történettudomány) elért kutatási eredményeikről tartottak beszámolót („A Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács 3. közgyűlése” 2015).

2018. október 4–5-én Komáromban a Selye Egyetemen került megrendezésre „A tudomány etikai problémái” című szimpózium. A rendezvény témaválasztása nem volt véletlen, hiszen korunkban azok a tudományon kívül élő emberek is, akik nem szembesülnek a tudományetika „belső” problémáival (azaz a kutatás etikai normáival), lépten-nyomon beleütköznek a tudományetika „külső” területén megnyilvánuló azon jelenségekbe, amelyek egyrészt a kutatás eredményeinek gyakorlatba való átültetésével (például a genetika vívmányainak felhasználása, a genom adatbázisok felhasználása stb.), másrészt egyes közéleti személyek alaposan megkérdőjelezhető cselekvésével (szabály- és törvényellenesen használt tudományos cím használata) függenek össze.

A szimpózium azért is időszerű volt, mert az utóbbi időben a különböző tudományellenes nézetek terjedésével egyes – magukat tudósnek nevező és tartó – egyének megsértik saját tudományáguk metodológiai elveit, és tudományerkölcsi szempontból opportunistává válnak. Sőt, a politikai szféra sikerorientáltsága és napi érdekeket követő cselekvése negligálja az alapkutatásokat, amivel megfosztja a tudományokat a kutatás szabadságától és az autonómiájától. Tanúi vagyunk annak, hogy térségünkben a politikai hatalom aktuális aktőrei támadásokat hajtanak végre az alapvető tudományos intézmények (Magyar Tudományos Akadémia, Szlovák Tudományos Akadémia) ellen. Ezek mind szembesítettek bennünket azzal, hogy a szakmai-tudományos éthosz megkülönböztetett figyelmet érdemel mind státuszának végiggondolása, mind pedig érvényesítése tekintetében.

A kétnapos szimpózium első napján előadások hangzottak el a „belső” és a „külső” tudományetika témaköréből az egyes tudományágak (nyelvészet, filozófia, teológia, történettudomány, etnológia, ökológia, fizika, genetika és pszichológia) szempontjából, valamint a tudományetikai kódexek kidolgozása aspektusából. A második napon workshop keretében találkozott a megelőző nap néhány előadója a szlovákiai

egyetemen magyar nyelvű doktori képzésben részt vevő hallgatókkal („A tudomány etikai problémái...” 2018).

2019-ben két konferenciát is szervezett a SZMAT. Időrendben az első október 4–5-én volt Alsósztrégován, és a „Filozófia és irodalom” címet viselte. Első hallásra talán ezoterikusnak tűnhet a téma, hiszen akkor, amikor sokkal égetőbb problémákkal kell szembenéznie a magyar tudományosságnak, miért vonultunk el e két diszciplína elefántcsonttornyába? De nem így volt, mert a konferencia egyes szekciói a filozófiát és az irodalmat (irodalomtudományt) érintő egyik legaktuálisabb kérdést boncolgatták: mi a viszony a filozófia „lehetséges világokra” rákérdező és az irodalom „fiktív világokat” kialakító álláspontja között akkor, amikor a köznapokban is egyre másra ütközünk bele abba, hogy a hagyományos szemléletben valóságnak nevezett entitás jelentése megrendült, és helyét a virtualitás veszi át. Nem is véletlen, hogy a megnyitó előadások éppen e kategória-hármaságon belül próbáltak rendet teremteni. Ezenkívül szó esett a filozofikum és az irodalom viszonyáról a magyar kultúrtörténeten belül a 19. századtól a két háború közötti időszakig, kiemelten pedig az egyik legfilozofikusabb magyar szerző, Madách Imre életművéről.

Mindhárom szekcióban a hazai és a magyarországi tudományos életnek a témákkal foglalkozó legjelentősebb képviselői adtak elő. Ha így tekintjük ezt a konferenciát, akkor kitűnik, hogy a háttérben ott húzódott egy fel nem tett kérdés is, amelyik az elmúlt lassan már kétszáz évben állandóan visszatért a magyar művelődéstörténetben: Mi a szerepe a gondolatnak a magyar kultúrában? A konferencia anyagait lektorált formában és a konferencia címével 2020-ban jelentettük meg a SZMAT és az MTA közös kiadásában.

A másik, november 22–23-án Nyitrán megvalósult konferencia, amelyik a SZMAT reprezentatív tudományos rendezvényének készült, hiszen a megelőző évi tudományetikai konferencia folytatásaként fogtuk fel, az áltudományokat vette górcső alá „Tudománnyal? Vagy a tudománnyal szemben?” címmel. A tudományetikai szimpóziumon és itt is abból az axiómából indultunk ki, hogy a tudomány állításait nem tartjuk végleges és egyedül üdvöztető megoldásoknak, hanem elfogadjuk azt a temporális behatárolódást, amit így fejezhetünk ki: „a tudomány jelenlegi állása szerint”.

Ugyanakkor kiállunk a mellett a meggyőződésünk mellett, hogy a szigorú módszertani szabályoknak alávetett, saját eredményeit állandóan felülbíráló és saját etikai normáit komolyan vevő modern tudományosság adja meg a lehetőséget arra, hogy válaszokat találjunk az emberiség legégetőbb kérdéseire. Vagyis megalapozott kritikával illetjük azokat az áltudományos, vagy a tudományossággal szemben megfogalmazódó nézeteket, amelyek tévútra vezethetik a nem kellőképpen tájékozott befogadót. A találkozón főként esettanulmányok kerültek terítékre több tudományos diszciplína területéről, de megfogalmazódott az is, hogy a tudomány embereinek néha ki kell lépniük diszciplínájuk konceptuális keretei közül, és meg kell próbálkozniuk a jó értelemben vett népszerűsítéssel.

Problémafelvetésében mindkét szimpóziumunk – a tudományetikai és az áltudományokkal foglalkozó is – szerencsésen találkozott az MTA (és a 2018. évi World

Science Forum) törekvésével. Főként persze az MTA 2019. december 2-i rendkívüli közgyűlésén elfogadott programnyilatkozat hetedik pontjával: „Az Akadémia kommunikációs csatornáin és rendezvényein bemutatja a tudomány eredményeit és módszereit, ösztönzi a kritikai gondolkodást. Ezáltal biztos tájékozódási pontokat kínál a szélesebb közönség és a döntéshozók számára, és vonzóvá teszi a kutatói hivatást. A tudományos módszertan és eredmények széles körű megismertetése révén harcol az áltudományok és a tudománytalan nézetek ellen” („A Magyar Tudományos Akadémia küldetése 2019” 2020).

Utólag megállapíthatjuk, hogy mind a tudományetikai, mind pedig az áltudományokkal foglalkozó konferencia mintha előre jelezte volna azokat a dilemmákat és társadalmi feszültségeket okozó döntéshozatali mechanizmusokat, amelyek a Covid-járvány alatt bukkantak felszínre.

A járvány harmadik hullámának brutális megjelenését közvetlenül megelőzve még 2021. október 14–15-én Újtátrafüreden szerveztük meg a budapesti Bölcsészettudományi Kutatóközpont Filozófiai Intézetének közreműködésével „A magyar filozófia történetírásának metodológiai és gyakorlati problémái” címet viselő nemzetközi konferenciát, amelyen magyarországi, erdélyi és szlovákiai előadók vettek részt. A konferencia előadásai a szakma legfontosabb és legaktuálisabb kérdéseit boncolgatták. Ily módon ez a konferencia szerves része és bizonyos módon lezárása volt azoknak a rendezvényeknek, amelyeknek a sorát még az 1990-es évek elején a miskolci kollégák nyitották meg, és amelyek aztán Kolozsvárott, Pozsonyban és Nyitrán folytatódtak.

Ezekhez a konferenciákhoz még ideillik az a fontos megjegyzés, hogy szervezésükkor mindig ügyeltünk arra, hogy az előadók ne csak Szlovákiából, hanem Magyarországról és a többi határon túli tudományos közösségekből regrutálódjanak. Ezzel is erősítve azt a koncepciót, hogy régiókként ugyan rendelkezünk meghatározó sajátosságokkal, de amikor az adott tudományág, esetleg a tudományosság legfontosabb kérdései kerülnek terítékre, akkor ezeket úgy kell konfrontálni egymással, hogy a szakmaiság legyen a döntő kritérium.

Hazai résztvevőkkel zajlott le a Chrenóczy-Nagy József munkásságának szentelt szimpózium 2023. május 3-án Nyitrán. A szimpózium ötlete a 2022-es emléktábla-avatáskor merült fel, de az eredeti elképzelést kissé módosítva a témát tágabb keretek közé helyeztük és az időhatárokat is kiszélesítettük. A szimpózium ebben a formájában egyrészt egy időbeli ívet vázolt fel a 19. századi kezdetektől a 21. századi folytatásig, másrészt felmutatta azt a felszínen nem mutatkozó összefüggést is, amely Chrenóczy-Nagy polihisztorságától Selye János orvostörténeti jelentőségű munkásságán át a jelenlegi szlovákiai magyar orvosok szakmai tevékenységéig húzódik. A szimpózium ötlete tehát, amelyik eredetileg visszaemlékezésen és egy jelentős tudós teljesítményének a bemutatásán alapult, kibontakozásában a ma és a közeljövő felvázolásáig jutott el, ezért termékenynek bizonyult. A lehetséges folytatásban Nyitra egyéb tudománytörténeti jelenségeinek a feldolgozása jöhet számításba, többek között az esztétorténeti szempontból jelentős piarista hagyomány feltérképezése.

Tudományos rendezvények támogatása

Első helyen azokat a rendezvényeket említjük, amelyeket a SZMAT beindulása óta minden évben támogatunk. A SZMAT társszervezőként lép fel Nyitrán a Közép-európai Tanulmányok Kara által szervezett „Legere Irodalmi Verseny” lebonyolításában. 2024-ben már 13. alkalommal rendezték meg a versengést, amelyen gimnáziumi és szakközépiskolai csapatok vállalkoznak a megmérettetésre. A diákok a versennyel párhuzamosan előadásokat is meghallgatnak, aminek a hozománya a diákok számára az, hogy betekintést kapnak az irodalomtudományi kutatások legújabb eredményeibe, az egyetemi oktatók oldaláról pedig az, hogy szorosabbra fűzik a közoktatás résztvevőivel a kapcsolatot, és az elméleti-kutatói tevékenységüket oktatáselméleti, oktatáspolitikai és szak módszertani irányultságú rendezvényekkel gazdagítják. A versenyen előadó szakemberek, valamint a versenyt szervező és lebonyolító kollégák és kolleginák általában a SZMAT tagjai közül kerülnek ki. A verseny csaknem minden évben az MTÜ (Magyar Tudomány Ünnepe) alkalmából kerül megrendezésre.

Az évente megrendezett „Felvidéki Tudományos Diákköri Konferencia” különdíját a SZMAT adományozza a nyertes hallgatónak.

Folytatólagosan, 2021-ben és 2024-ben anyagi támogatásunkkal és a Szlovák Tudományos Akadémia Világirodalmi Intézete szervezésében valósult meg Szomolányban, illetve Felső-Erdőfalván az a nemzetközi hungarológiai konferencia és workshop, amely a „Nemzeti irodalomtörténet és idegennyelvű befogadó kultúra” címet viseli. Ez a találkozó a transzkulturalizmus elméletének irodalomtörténeti alkalmazhatóságával, továbbá a magyar irodalomtörténet olyan momentumaival foglalkozott, amelyek a tisztán nemzeti irodalomtörténeti megközelítés szempontrendszerével nem írhatók le („Transzkulturális szempontok...” 2024).

Az ismétlődő rendezvények mellett az alábbiakban felsorolt szimpóziumokat és konferenciákat támogatta a SZMAT, illetve társszervezőként vett részt:

2018-ban „Időszerű eredmények a biológiatudományban és oktatásában” szimpózium (Selye János Egyetem, Komárom), „Többközpontú nyelvek és nem-domináns változataik hatodik világkonferenciája” (Közép-európai Tanulmányok Kara, Nyitra), „A Rákócziak 16–17. századi család- és rokonságtörténete”, illetve „A Rákócziak történetének interdiszciplináris kutatási eredményei” – két, egymáshoz kapcsolódó szimpózium, (Selye János Egyetem, Komárom), „Zeman László emlékkonferencia”, Comenius Egyetem, Pozsony.

Ezenkívül 2018-ban Susan Gal „A nyelv politikája. Nyelvi antropológiai tanulmányok” című könyvének bemutatóján voltunk jelen (Budapest, Domus Hungarica), valamint közreműködtünk az „Írások mérlegen. Emlékkötet Turczel Lajos születésének centenáriuma alkalmából” című könyv emlékkötet megjelenésénél.

2019-ben „Kutatás és oktatás” címmel a Selye János Egyetem Tanárképző Kar Biológia Tanszéke, az Eperjesi Egyetem Humántudományi és Természettudományi Kara, a Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács és a Magyar Tudományos Akadémia

Határon Túli Magyarok Titkársága által szervezett nemzetközi tudományos szimpóziumon vettünk részt a Domus Vendégházban. „A Többség – kisebbség együttélése – nemzetközi tudományos szimpózium” (Selye János Egyetem, Komárom) öt ország előadójának részvételével valósult meg.

„A pozsonyi magyar tanszék 60 éve” címmel a Comenius Egyetem BTK Magyar Nyelv és Irodalom Tanszéke szervezett konferenciát: az előadások az intézményben folyt és folyó irodalomtudományi, nyelvészeti, hungarológiai kutatásokra fókuszáltak.

A 2020-as év a Covid éve volt, de a Selye Egyetem nemzetközi tudományos szimpóziumot szervezett az online térben „Többség – kisebbség együttélése. Identitások – VIII. nemzetközi tudományos szimpózium” címmel. A szimpóziumot az emberi jogok világnapján rendezték.

2022-ben „Önkéntes munka a 21. században” címmel rendeztek tudományos szimpóziumot Komáromban, a Selye János Egyetemen.

2023 októberében Alsó-Sztregován a Szlovákiai Magyar Kultúra Múzeuma szervezésében megvalósuló „Madách évszázadai” című konferencia védnökeként szerepelt Mészáros András, a SZMAT elnöke.

2024-ben Nyitrán, a Konstantin Filozófus Egyetem Közép-európai Tanulmányok Kara Magyar Nyelv- és Irodalomtudományi Intézetének szervezésében és az Arany László Polgári Társulás, valamint a SZMAT társszervezésében valósult meg a „Kortárs – irodalom – tanítás” című konferencia.

Ezen kívül a „Kihívások és lehetőségek az oktatásban, az egészségügyben és élettudományokban” címmel a Selye János Egyetem, az Eperjesi Egyetem és az MTA közreműködésével és a SZMAT társszervezésében nemzetközi konferenciát szerveztünk Budapesten, a Domusban.

Anyagiakkal támogattuk a pozsonyi magyar orvosokat tömörítő Selye János Klub szakmai könyvtárának bővítését.

Kassai fiókszervezetünk a Mindentudás Egyeteme előadássorozatban a következő programokat valósította meg: 2023-ban Bánó Gergely „Amikor a kevesebb a több – rövid lézerimpulzusok és alkalmazásaik”, 2024-ben Rácz Olivér „Karikó Katalin és a többiek (jó, hogy nem csak amerikai férfiak kapnak Nobel-díjat)”, valamint Szabó Pál „Az alacsony hőmérsékletű fizikáról” címmel, a Kutatók Éjszakája rendezvénysorozat keretében pedig Csanádi Tamás „Kerámiák nanotechnikai vizsgálata. Lehet-e hajlítható kerámiákat alkotni?” címmel tartott előadást.

Emléktáblák állítása

A SZMAT Elnöksége 2018-ban döntött úgy, hogy születése, iskolázása vagy tudományos munkássága nyomán a volt Felső-Magyarország (hozzávetőlegesen a mai Szlovákia) területéhez kapcsolódó volt MTA-tagoknak (levelező tagoknak, tiszteleti tagoknak, külső tagoknak) emléktáblákat állít. Ezzel szeretnénk visszahozni a magyar – de ugyanúgy a szlovák és német – kulturális tradícióba azokat a tudósokat,

akik ennek a multikulturális régiónak a szellemiségét saját korukban kifejezték. A legtöbb emléktáblát jelenleg szlovák többségű településeken lepleztük le, ezzel is jelezve, hogy a valódi tudományos teljesítmény – még ha specifikusan hungarológiai témához kapcsolódik is – túllép a nemzeti korlátokon, és humanizáló funkciókat kap. Megjegyzendő, hogy nem hosszú időszakra és előre eltervezett listáról van szó, hanem figyelembe vesszük az esetleges évfordulókat és a tudományterületek közti eloszlást is, azután pedig évente dönt az Elnökség arról, hogy kit választunk a javasoltak közül. Ezután vesszük fel a kapcsolatot az érintett település polgármesterével, esetenként a Műemlékvédelmi Hivatallal, vagy pedig – mint Bártfafürdő esetében – a szanatórium igazgatótanácsával, hogy felajánljuk a tábla elhelyezésének lehetőségét. Eddig jóformán nem találkoztunk negatív visszajelzéssel, sőt, a szlovák települések képviselői örömmel fogadták a kezdeményezésünket. Legjobb példa erre Berzevice (Brezovica nad Torsou) nagyközség polgármesteri hivatala, valamint a helyi iskola, ahol Berzeviczy Albertről és a Berzeviczy családról a diákok a helytörténeti kurzuson belül tanulnak.

Az emléktáblák kétnyelvűek, és a laudációk is mindig szlovákul és magyarul hangzanak el. A következő emléktáblákat helyeztük el és lepleztük le 2018 novemberétől 2025 januárjáig:

- 2018: Csetnek – Szontagh Gusztáv filozófus, irodalomkritikus, mezőgazdasági szakíró
- 2019: Alsó-Sztregova – Madách Imre író
- 2021: Berzevice – Berzeviczy Albert történész, politikus, az MTA elnöke (1905–1936)
- 2021: Rozsnyó – Magda Pál statisztikus
- 2022: Bártfafürdő – Chyzer Kornél balneológus
- 2022: Nyitra – Chrenóczy-Nagy József orvos
- 2023: Pozsony – Bauer Győző gyógyszerkutató, a SZMAT volt tiszteletbeli elnöke
- 2023: Eperjes – Hazslinszky Frigyes botanikus
- 2024: Jolsva – Fabinyi Rudolf vegyész
- 2024: Eperjes – Vandrák András filozófus
- 2025: Nagyszalók – Hunfalvy Pál nyelvész és etnográfus, valamint Hunfalvy János geográfus

A nagyszalóki táblaavatást egy szimpózium követte, amelyen a két Hunfalvy munkásságáról hangzottak el előadások, és amely az MTA, az MTA Miskolci Területi Bizottsága és a SZMAT együttműködésével jött létre („Emléktábla-avatás Nagyszalókon” 2025).

Fiatal kutatók a szlovákiai magyar tudományosságért díj

A díjat olyan fiatal, 35. évüket még be nem töltött, szlovákiai magyar tudósok, kutatók elismerése céljából hozták létre, akik a magyar tudományos élet szlovákiai előmozdításában kiemelkedő érdemeket szereztek. Ezt a díjat évente osztjuk ki a SZMAT tagjai által beküldött ajánlások alapján és az egyes tudományterületek (élettudományok; műszaki- és élettelen természettudományok; társadalomtudományok és bölcsészettudományok) közötti paritás elvét betartva. Vagyis három díjjal számolunk, de ez a terv mindig módosul aszerint, hogy mennyi és melyik területről érkező ajánlást kell elbírálni. Az ajánlattevők mutatják be a jelölteket, akik a díj átvétele előtt előadást tartanak kutatási területükről és témájukról. A díjazottakat itt név szerint is megemlítjük, mert ők azok, akik a SZMAT eljövendő törzsgárdáját erősítik majd.

A 2016-os év díjazottjai: Száz Pál (irodalomtudomány), Jankó Viktor (orvostudomány), Makovický Pál (biológia).

A 2017-es év díjazottjai: Csáky Veronika (molekuláris biológia), Baka Patrik (irodalomtudomány).

A 2018-as év díjazottja: Radvánszky János (genetika).

A 2019-es év díjazottjai: Tóth Tar Éva, aki humángenetikával és Tóth-Bakos Anita, aki zenepszichológiával foglalkozik.

A 2020-as év díjazottjai: Fekete Klaudia a műszaki és élettelen természettudományok kategóriában, Szenczi Iveta az élettudományok kategóriában, Tömösközi Ferenc pedig társadalomtudományok és bölcsészettudományok kategóriában.

A 2021-es év díjazottjai: Šimonová Tímea műszaki és élettelen természettudományok kategóriában, Zsigmond Tibor és Gergely Viktória pedig a társadalomtudományok és bölcsészettudományok kategóriában. Gergely Viktóriát 2023-ban a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából az MTA Miskolci Területi Bizottsága MAB-MTK Tudományos Díjban részesítette, aki az ünnepi ülésen előadást tartott „Hol tartunk a szövegértésben?” címmel.

A 2022-es év díjazottjai: Jerábek Róbert az anyagtudományok területén, Istók Béla pedig nyelvészeti diszciplínában mutatott fel jelentős eredményeket.

A 2023-as év díjazottja: a díjat három javasolt személy közül Sebők Szilárdnak ítélte oda a bíráló bizottság.

A 2024-es év díjazottjai: Valkó Vivien és Lengyel-Marosi Renáta társadalomtudományok és bölcsészettudományok kategóriában, Dancsa Dániel pedig az élettudományok kategóriában. A Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából az MTA Miskolci Területi Bizottsága MAB-MTK Tudományos Díjban részesítette Radics Rudolfot, az Eperjesi Egyetem adjunktusát, a SZMAT tagját.

Könyvkiadás

A SZMAT könyvkiadási tevékenységét az elmúlt fél évtizedben a konferenciakötetek és a 2022-ben útjára indított monográfiásorozat megjelent címei reprezentálják.

Két konferenciakötetet jelentettünk meg: Mészáros András, szerk. (2020). *Filozófia és irodalom*. Budapest–Somorja: Magyar Tudományos Akadémia–Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács, valamint Mester Béla – Mészáros András, szerk. (2022). *A magyar filozófia történetírása. Módszertani és kutatói gyakorlat*. Budapest–Somorja: Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács–Bölcsészettudományi Kutatóközpont Filozófiai Intézet–Gondolat Kiadó.

A monográfiásorozat célja, hogy a szlovákiai magyar tudományosság eredményei a tudományos közösség számára széles körben elérhetővé váljanak. A sorozat kiadója a SZMAT mellett a Magyar Tudományos Akadémia. A monográfiásorozat főszerkesztője Vančo Ildikó, szerkesztőbizottsága a SZMAT vezetőségének tagjai, nemzetközi tanácsadó testületét határon túli egyetemek különböző tudományterületeinek nemzetközi hírű oktatói adják. A monográfia megjelentetésére pályázatot szlovákiai SZMAT-tagok nyújthatnak be. Eddig a következő kötetek jelentek meg: Petres Csizmadia Gabriella (2022). *Hét határon túl – A meseregény poétikája*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia–Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács; Zsigmond Tibor – Machová Renáta (2023). *Az érzelmi intelligencia és az etika hatása a szervezeti tudásmegosztásra*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia–Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács; Németh Zoltán (2023). *Transzkulturalizmus: elmélet és gyakorlat*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia–Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács; Presinszky Károly (2024). *Magyar számítógépes dialektológiai kutatások Szlovákiában*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia–Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács; Bauko János (2024). *Kétnyelvűség és keresztnévhasználat. Magyar–szlovák keresztnévkönyv*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia–Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács.

Irodalomjegyzék

- „A Magyar Tudományos Akadémia küldetése 2019” (2020). MTA (2020. jan. 7.) <https://mta.hu/data/dokumentumok/hatteranyagok/Az%20MTA%20Kutatohelyeinek%20eredmenyei/20200107%20kuldetes.pdf>.
- „A Szlovákiai Magyar Akadémiai Tanács 3. közgyűlése” (2015). *SZMAT* (2015. szept. 8.). <https://szmat.sk/a-szlovakiai-magyar-akademiai-tanacs-3-kozgyulese/>.
- „A tudomány etikai problémái c. nemzetközi tudományos szimpózium, Komárom, 2018. október 4–5.” (2018). *SZMAT* (2018. okt. 11.). <https://szmat.sk/a-tudomany-etikai-problemai-c-nemzetkozi-tudomanyos-szimpozium-komarom-2018-oktober-4-5-komarom/>.
- „Emléktábla-avatás Nagyszalókon” (2025). *SZMAT* (2025. jan. 28.). <https://szmat.sk/emlektabla-avatas-nagyszalokon/>.
- „Transzkulturális szempontok külföldieknek szánt magyar irodalomtörténetben” (2024). *SZMAT* (2024. jún. 2.). <https://szmat.sk/transzkulturalis-szempontok-kulfoldieknek-szant-magyar-irodalomtortenetben/>.

TEMATIKUS ÖSSZEÁLLÍTÁS

A mesterséges intelligencia filozófiai kihívásai Philosophical Challenges of Artificial Intelligence

Vendégszerkesztő: Golden Dániel

Bevezető

Introduction

Golden Dániel

tudományos munkatárs, ELTE Humán Tudományok Kutatóközpontja, Budapest
golden.daniel@htk.elte.hu

A mesterséges intelligencia gyorsan fejlődő területe folyamatosan megköveteli a jelenségek korábbi leírásainak újragondolását és ártértékelését, amelyben kulcsszerepet töltenek be a filozófiai megközelítések. Egyrészt, amikor maguk a technológiai fejlesztésben részt vevő szakemberek is olyan kérdéseket tesznek fel, mint hogy mit kell értenünk emberi, illetve mesterséges intelligencia alatt; tulajdoníthatunk-e tudatot, személyiséget, tudást, felelősséget a mesterséges intelligenciának; milyen szerepeket tölthet be a mesterséges intelligencia a társadalmi, gazdasági, kulturális rendszerek alakulásában, voltaképpen olyan problémákkal foglalkoznak, amelyek a különböző filozófiai diszciplínák hagyományos kutatási területeihez tartoznak. Másrészt, ahogy a mesterséges intelligencia fokozatosan átveszi az eredendően a természetes intelligenciához társított funkciókat és szerepeket, úgy kérdőjelezi meg sorra az emberről alkotott felfogásunk egyes elemeit.

Ma már nem az a kérdés, hogy létezhet-e egyáltalán mesterséges intelligencia, hanem az, hogy ha már van, hogyan létezik, s mi következik ebből az emberre nézve. A HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont Filozófiai Intézetében 2023. november 10-én a Magyar Tudomány Ünnepe keretében szervezett konferencián elhangzott előadások a mesterséges intelligenciával kapcsolatos filozófiai kihívásokat járták körbe. A *Magyar Tudomány* számára készített tematikus összeállítás célja, hogy képet adjon az ezekkel kapcsolatos problémákról és aggodalmakról, illetve a rájuk adható filozófiai válaszokról.

Hévízi Ottó „Penrose teorema az ítéletformálásról” című írásában egy általa rekonstruált tézist vizsgál, s az annak pontosítására tett javaslat révén értelmezi újra a mesterséges intelligencia fogalmát. E szerint a humán elme és a gépi elme eltérése az akár elfogadó, akár elutasító tetszésítéletre való képesség meglétében, illetve hiá-

nyában érhető tetten. Kondor Zsuzsanna az „MI és a tudat” kapcsán arról ír, hogyan ragadható meg az emberi és a mesterséges intelligencia közti különbség a tudat fogalmáról, valamint a tudatosság működéséről szóló filozófiai hagyományra, illetve kortárs tudományos megközelítésekre építve. Végül erre a célra a szubjektív tapasztalat egyes szám első személyű élményét találja a legmegfelelőbbnek.

Bernáth László arra a kérdésre keresi a választ, hogy „Miért nem felelős a mesterséges intelligencia?”. Megítélése szerint a jelenlegi technológiával elkészíthető mesterséges intelligenciához semmilyen valódi morális felelősség sem rendelhető, mivel nem bír fenomenológiai tudatossággal, így nem értheti meg a jó és a rossz alapfogalmait sem. Danka István azt vizsgálja, hogy miközben az egyre intelligensebb (vagy annak tűnő) gépek nagyon hasonló dolgokra képesek, mint az ember, mi a legfontosabb „Tíz érv az ellen, hogy morális közösséget vállaljunk az MI-vel”. Úgy tűnik, az inkluzivitással szemben a racionálisan legkevésbé meggyőző, érzelmi alapú diszkriminatív attitűd bizonyul meghatározónak.

Hoffmann Miklós „Mesterséges intelligencia alapú tudományos felfedezések – kreativitás, szelekció és heurisztika” című írásában a mesterséges intelligencia közreműködésével született tudományos eredményeket veszi górcső alá. Ezekben az esetekben jellemzően jól fókuszált problémáról van szó, amelyhez elég jól lehet célfüggvényt definiálni, így az eredeti felfedezés továbbra is a humán értelem privilégiuma marad. Golden Dániel „Mesterséges intelligencia és társas tudás” vonatkozásában a mesterséges intelligenciának a *szimuláció* eszméjét középpontba állító klasszikus diskurzusa helyett az emberi és a gépi értelem közötti együttműködést a *szimbiózis* fogalmával leíró megközelítést javasolja, amire építve termékenyebb értelmezések adhatók az ember kognitív kapacitásának kiterjesztéséről a gépek nyújtotta lehetőségek révén.

Mit remélhet tehát a mesterséges intelligencia témája a filozófiától? A fentiekhez hasonló alapvető kérdések szisztematikus áttekintését, a lehetséges értelmezési keretek megvilágítását, a különböző felfogások melletti elköteleződések következményeinek bemutatását. Ez a fogalmi feldolgozás feltétlenül kiszabadítandó az utópikus, illetve disztópikus narratívák fogságából annak érdekében, hogy az érintett jelenségek társadalmi, gazdasági, kulturális hatásai érdemben mérlegelhetővé váljanak.

Penrose teore mája az ítéletformál ásról

Penrose’s Theorem of Judgement Formation

Hévizi Ottó

egyetemi tanár, Debreceni Egyetem Bölcsészettudományi Kutatóközpont Filozófiai Intézet, Debrecen
heviziotto@gmail.com

Összefoglalás

A cikk a humán elme és a gépi elme képességei közti eltérésekkel foglalkozik. Ennek vizsgálatához Roger Penrose 1990-es könyvének, *A császár új elméjének* egyik elgondolását veszi alapul. Ezt az elképzelést maga Penrose nem fogalmazza meg tételként, de elszórt fejtegetéseiből kibontható. Állítása szerint az algoritmikus gépi elme képtelen arra az ítéletformálásra, amely az elvetés, „lelövés” esztétikai minőségeken is alapuló folyamatát jelenti; ezért csak a humán elme nek van nemalgoritmikus tudatossága. A cikk ezt a teore má t kívánja értelmezni.

Abstract

This article explores the differences between the capabilities of the human and machine minds. It is based on an idea from Roger Penrose’s 1990 book *The Emperor’s New Mind*. Penrose does not formulate this idea as a thesis himself, but it can be inferred from his scattered claims and explanations on the subject. Penrose argues that algorithmic machine minds are incapable of forming judgements based on rejection or “shooting down”, which is influenced by aesthetic qualities. Therefore, only the human mind has non-algorithmic consciousness. The article aims to interpret this theorem.

Kulcsszavak: Roger Penrose, mesterséges intelligencia, tudatosság, tudattalan, esztétika

Keywords: Roger Penrose, artificial intelligence, consciousness, non-consciousness, aesthetics

1.

Előadásom párdarabja egy korábbinak, mely a gépi elme (mesterséges intelligencia) és a humán elme közötti *rokonságot* próbálta körvonalazni (Hévizi 2021). Mostani kérdésem ennek ellenkezője – hogy *miben mások*. Van Roger Penrose-nak egy elgondolása *A császár új elméjében* (The Emperor’s New Mind) – erre hivatkozom a továbbiakban Penrose-teore máként, bár Penrose maga tudtommal sehol nem nevezi így –, amellyel a gépi és a humán elme közti határvonalat húzza meg. Penrose gondolatmenetét alkotó, fő állításokat két idézet sor – lásd alább (a) és (b) – segítségével foglalom össze (Penrose 1990; 2011; a fordításon módosítottam – H. O.).

(a)

„A tudatosság és ítéletformálás [forming of judgements] kapcsolata fő helyet kap későbbi érveimben. [...] Szerintem a tudattalan folyamatok nyugodtan lehetnek algoritmikusak, csak ezek szintje annyira bonyolult, hogy szörnyen nehéz aprólékosan kibogozni őket. A tisztán tudati gondolkodás, amelyet, mivel teljesen logikus, képesek vagyunk racionalizálni, úgyszintén (gyakran) formálissá tehető, lévén algoritmikus, csak teljesen más szinten. [...] Az, amire a mesterséges intelligencia kutatóinak nem volna ötletük a számítógépbe való beprogramozáshoz, az ítéletformálás [judgement-forming] maga – számomra ez a tudatosság ismerve. [...] A tudatos benyomásaink alapjául szolgáló okoknak nincs közvetlen hozzáférésük a tudatossághoz. [...] Nem-algoritmikus ítéletek: ezek maguk a tudatos benyomások. [...] Azt állítom, hogy a tudatosság ismerve egy képesség, ami megfelelő körülmények között az igazat a hamistól (s a szépet a rondától!) elválasztja (vagy 'intuíciója' van erről). [...] [A] tudatosság ismerve az ítéletek nem-algoritmikus formálása [non-algorithmic forming of judgements].” (Penrose 2011, 34, 525. skk.)

Az idézetsor végén feltűnik az ítéletformálás példaként említett vonása: „elválasztani a szépet a rondától”. Ez *tetszéként* és – mint ez a Penrose-műben másutt kiviláglik – főleg képileg-zeneileg értett *esztétikai* ítélet. Ebből világos, hogy az ítéletformálás hátterében Penrose-nál ott kell hogy álljon Kant esztétikai-teleológiai műve, *Az ítéelőerő kritikája*. A Penrose-teorémához tartozó idézetek második csoportja döntően erre az esztétikai minőségen nyugvó ítéletformálásra hoz példákat.

(b)

„[Í]téleteink formálásában rendkívül értékesek az esztétikai kritériumok [aesthetic criteria]. [...] Előttém világosnak tűnik, hogy az esztétikai kritériumok [aesthetic criteria] fontossága nemcsak az ihlet pillanatszerű ítéleteiben érvényesül, hanem azokban a sokkal gyakoribb ítéletekben, amelyeket a matematikai (vagy természettudományos) munkában állandóan megteszünk. [...] Bizton tanúsíthatom az esztétikai minőségek [aesthetic qualities] fontosságát gondolkodásomban; ezt a leginkább »ihletett« ötleteknek minősíthető »meggyőződéseknel« éppúgy éreztem, mint a »rutinszerűbb« sejtéseknél. [...] A felállítás [putting-up] tudattalannak látszik (»nem kell hozzá semmit tennem«), habár kétségtelenül nagyon szelektív, míg a lelövés tudatos ízlésbíró [the shooting-down is the conscious arbiter of taste] (»amik tetszenek, azokat megtartom«). [...] Feltételezésem szerint az »esztétikai« elvetés ['aesthetic' rejection], amelyre utalok, olyasmi, ami gátat vet annak, hogy a nem vonzó ötletek a tudatosság bármely valóban tartós szintjére egyáltalán eljussanak.” (Penrose 2011, 536. skk.)

Az ítéletformálás esztétikai vonatkozását Penrose nemcsak a saját tudományos-matematikai tapasztalatai alapján látja igazolva, de másokéval számolva is; itt Jacques Hadamard, Albert Einstein, Henri Poincaré, Paul Dirac nevét említi. Penrose egyúttal megadja az esztétikai tudatosságú, nemalgoritmikusnak tekintett ítéletformálás rendszertani helyét is. Mint írja, a nemalgoritmikus ítéletformáláskor nem az ötlet, a meglátás felvillanása, a „felállítás” (putting-up) jórészt tudattalan eseménye történik meg, hanem az ötlet „lelövése” (shooting-down), tudatos elvetése.

A fenti két idézetsor együttesen alkotja azt, amit most Penrose-teorémának nevezek. Ez két fő állítást tartalmaz, amelyek egyetlen mondat két részeként is összefoglalhatók:

- (1) Az algoritmikusság a gépi elmét egyaránt rokonítja a humán elme tudati és tudattalan működésével;
- (2) de maga az algoritmikusság – és vele a gépi elme – nem rokon a humán elme esztétikai minőségekre is épülő ítéletformálásával, a tudatos benyomásainkról adott ízlésítélettel, amely nemalgoritmikusan, „ízlésbíróként” vet el ötleteket.

Még rövidebb megfogalmazást adva, a Penrose-teoréma a következőt mondja ki arról, hogy a gépi elmének hol húzódik a határvonala a humán elmével szemben:

- (3) Az algoritmikus gépi elme elvető tetszésítéletre képtelen, csak a humán elmének van nemalgoritmikus tudatossága.

A gépi és a humán elme közti képességkülönbség mérlegelése ki kell, hogy terjedjen a Penrose-teorémán belül az állítás mindkét részére. Vizsgálódásom így előbb az algoritmikus működés *hatókörét* gondolja át mentációnkban (a fogalom értelmezéséhez lásd Gates 1895; Brakel–Shevrin 2003; Stanovich 2004), majd a gépi elme ítélőképességének *tudatossági hiányára* vonatkozó állítást veszem szemügyre.

2.

Régóta vallom, hogy humán elménk mentációja *polimorf*, többalakú, pontosabban *oligomorf*, néhány alakú, rizomatikus (lásd Hévízi 2013; 2021). A mentációnk komplexumán belül (1) a tudati rációműködés kettős: *detektáló* és *kognitív* ráció. Éppígy két alakja van mentációnkban (2) a tudattalannak is: az *affektív* és a *kognitív* tudattalan. Végül (3) a tudatosságot, a szubjektív tapasztalatot tudatosító, rekurzív, magunkra vonatkozó mentációt (ezt szélesebb értelemben a *mentalizáció* fogalma jelöli) szintén nem egy komponens alkotja, hanem három. Nevezetesen: az *önsajátítás* (kérdése: a dolog *sajátom-e?*), az *öngondozás* (alapkérdése: a dolog *erősít-e?*), valamint a *tetszés* (alapkérdése: a dolgot *kedvelem-e?*). Nos, vizsgálva a Penrose-teorémát, amely a gépi

elmét próbálja meg elhatárolni a miénktől, a humán elme általam vallott polimorfiját, illetve oligomorfiját fogom alapul venni.

A mérlegelés első kérdése az algoritmikusság hatókörére vonatkozik. A gépi elmenek az algoritmikussága az absztrakt, szekvenciális gondolkodás komputációjával áll a legközelebb a mi humán elmenkhez. Túlnyomó részben ezt műveli a *kognitív rációnk*. Ez, mondhatni, a gépi elme alaptevékenysége. Ám ebbe már ma is bele tud kapcsolódni a *detektáló rációnkra* jellemző műveletek közül jó néhány. Ilyen a gépi elmenél a jelzésdetektálás, a magát is „tanító” elemzés (deep learning), analízisen értve például azt, hogy a jel miben új, mennyiben tér el az elvárttól, menyire válik külön a közeg zajától (szaknyelven: robusztus-e a reziduális).

Ellenben a gépi elme nem akar, nem lelkesíti, de nem is csüggeszti szenvedély, még ha (Penrose-nak a könyvében felvetett másik ötletét valóra váltva) a gépi elme adna is úgynevezett *p–p*, azaz *pleasure–pain* (öröm–fájdalom) *pontszámokat* egyes impulzusoknak. A gép a viselkedés szabályozásán túlmenő, azaz életvitelt orientáló észelvek megadására is képtelen. (Aligha tudna mit kezdeni mondjuk a híres, rilkei diktummal, hogy: „Változtasd meg élted!”) Humán elmenk emotív, volitív és prediktív működésű, detektáló rációjából tehát a gépi elme előtt alapvető szegmensek maradnak ismeretlenek.

Nézzük, mi a helyzet a *tudattalannal*, melyet Penrose, mint láttuk, szintén nem zár el az algoritmustól! Ezt egyébként Penrose máshol is említi könyvében: „az emberi agy tudatos *vagy tudattalan* működése [action of the human brain, conscious or otherwise] csupán egy nagyon bonyolult algoritmus végrehajtása” (Penrose 2011; kiemelés tőlem – H. O.). Ellene vethető, hogy ilyennel biztosan nem rendelkezhet a gépi elme. Már csak azért sem, mert még senki sem látott gépi elmét rettegni sötétben, ödipálisan vágyakozni konstruktőre után, vagy elfojtani magában alantas impulzusokat. Én mégis hajlok elfogadni tőle, hogy a tudattalanban, ha bonyolultabban is, mint a tudati mentációnál, de jelen vannak algoritmusok.

Tapasztaljuk, hogy a tudattalannak, például az álmfantáziának van logikája, van narratív struktúrája. Az álomlogika és álomgondolkodás frázisokat már Friedrich Nietzsche (2008, 24–25) is használja. Sigmund Freud (2000, 201) az álmot egyenesen „tudattalan gondolkodásnak” hívja; ahogy már Arthur Schopenhauer is, talán elsőként, a *Parergáiban* (Schopenhauer 1924, 91). Nos, ha valóban *gondolkodás* a tudattalan, úgy szükségképp *mentációs lépésekben* történik; és ha ez a helyzet, akkor nem zárható ki nála az algoritmikusság sem.

Penrose-nak az algoritmusok érvényességi körébe a tudattalant is belefoglaló nézetéből tehát az következik, hogy elvileg a gépi elme algoritmikussága is beszélheti a humán mentáció tudattalanjának nyelvét. Kiváltképp, ha, mint ezt fenomenológusok hangoztatják, a tudattalan leginkább az *archaikus gondolkodáshoz* hasonlít, ahol a propozíciók művelti sztenderdje még nem domináns, így nyitottabb egy képi, metaforikus, ikonikus, metonimikus algoritmust variáló nyelvre (erről lásd például Marc Richir nyomán Ullmann 2016).

Ennyit a Penrose-teoréma két állítása közül az elsőről, amely a gépi és humán elmének a közös vonására reflektál. Ez a fentiek alapján jóváhagyható: *algoritmikus működésében a gépi elme többé-kevésbé közös lehet a humán elme tudati és tudattalan mentációjával.*

3.

Nézzük a második állítást Penrose-tól, mely arra vonatkozik, hogy miben *nem* közös a gépi és humán elme. Ez nála, láttuk, az *ítéletformálásban tetten ért, rekurzív tudatosság (mentalizáció)*, amelynél – az ötletek elvetési, kiostálói, „lelövési” oldalán – primér aktusként az *esztétikai ízlésszűrtet* tartja döntőnek. Bár az esztétikai szempontokat sokan (enyhén szólva) aggasztóan inadekvátnak találják a matematika és a természettudományok bizonyításainak világában, a matematikai szépségre vonatkozó nézetek már csaknem egy évszázada felmerültek, és máig is hatnak (lásd Hévizi 2021). Ennek a szempontnak a felvetésével Penrose tehát csak reaktívált egy már ismert aspektust.

De Penrose-t nem is az ezt illető, nyilván többeknél felhorgadó ellenérzések aggasztják. Kérdése egészen másra irányul: az algoritmusokra, pontosabban azok *érvényességi határára*: „engem aggaszt az, hogy egy algoritmus érvényességének eldöntése *nem* algoritmikus folyamat! [...] Hogy eldöntsük, *működni* fog-e egy algoritmus vagy sem, ahhoz éppenséggel *meglátásokra* [insights] van szükségünk, és nem egy másik algoritmusra” (Penrose 2011, 528–529). A probléma analógiaként tárgyalt eredetét – Kurt Gödel nemteljességi tételét – Penrose többször is megnevezi. Ez az analógia a gépi elmével kapcsolatban így értendő: algoritmikus rendszerekben, amilyen a gépi elme is, szükségképpen létezik algoritmikusan nem eldönthető elem, nevezetesen az, hogy miért esik a választás bizonyos algoritmusokra, szemben másokkal, amik „már ránézésre is” elvetendőnek minősülnek, sőt néha a tudatküszöb alá is szorulnak.

Eddig még nem tisztáztuk, hogy az algoritmusnak ez a *tetszsalapú*, *nem* algoritmikus megítélése Penrose-nál mit jelent és mit nem. Először is, nem jelent *bizonyítást* sem logikai, sem tudományos értelemben. Másodszor, nem *felvetését* jelenti egy ötletnek és vele egy majd rá épülő, lehetséges algoritmusnak. Hanem, mint láthattuk, *preferálásként* működik egy felmerült ötletnél, elgondolásnál, mégpedig azok „lelövésének”, elvetésének „ízlésbírót” idéző gyakorlatához hasonlítva, ahol is a ténykedés nem bizonyításon alapul, hanem esztétikai ítéleten: „*nekem ez tetszik, ezt kedvelem*, és kész”.

Való igaz, bármennyire is óvatossá tesz bennünket a teljesítményeiben „osztatlan sikert” arató gépi elme abban, hogy bizonyos elvi korlátokra mutassunk rá nála, nehéz elképzelni róla, hogy képes legyen tetszssítéletre. Hadd fogalmazzak itt még pontosabban. Az persze nagyon is elképzelhető, hogy a gépi elme *tetszss szerint*, önkényesen ítéljen. Sőt, az is elképzelhető, hogy a megtévesztésig tudjon *imitálni* tetszssítéleteket. Ez utóbbihoz elég, ha választ egy-egy ízléssparadigmát, majd beletanul mondjuk a széccsszióba, az organikuság, valórpreferálás, növényi motívumok, finom rajzolatosság stb. mind teljesebb képi világába, és utánzott ízléssválasztásait ezek egyre bővülő algoritmus szerint adja meg.

Azonban a gépi elme sem kontingensen, sem imitáltan adott feleleteinek egyike sem tekinthető egy „*nekem tetszik*” ítéletformáláson nyugvó, szubjektíve tudatos válasznak. Penrose az esztétikai ítéletformálásban ezért joggal mutat rá olyanra, ami elvileg sem algoritmikus.

4.

Van azonban Penrose fejtegetésében egy zavaró mozzanat. Egy kósza ötletet jónak tartani, egy meglátást ígéretesnek érezni, egy kifejezést pregnánsnak, markánsnak találni: nagyjából ez az, ami intellektuális értelemben az ízlésítélet tudatossága alá rendelhető. Azt jelenti ez az ítélet, hogy az ötlet, meglátás, kifejezés *jó* – azaz *megtartandó*. Penrose maga így is adja meg az „ízlés bírójának” képzeletbeli deklarációját: „amik tetszenek, megtartom [those which please me I keep]”. Csakhogy az ízlésbírói ítéletnek, mint láttuk, ellenkező módon ad szelekciós jelentést: kiostálásként, amennyiben egy felmerülő ötlet „lelövése” annak nem *megtartását* jelenti, hanem *elvetését*.

Penrose tehát úgy tartja, hogy a gépi elme korlátja – a nemalgoritmikus ítéletformálás – kizárólag az ízlésbeli kiostálásnál áll fenn. Ez különös. Ez ugyanis azt jelenti, hogy a gépi elme rivalizálhat ugyan a humán elmével egy ötlet *fölvetésében*, ellenben nem rivalizálhat vele *elvetésében*. Világos: a szabad ötletelés megférhet a jelentésegységeket véletlenszerűen felvető, őket gépiesen egymáshoz is társító műveletekével, ilyeneket el is végez a gépi elme. Ám akkor sem világos, miért volna egy fölvetett ötlethez való *vonzódás* algoritmikus, míg az *idegenkedés* egy másiktól, amely elvetéséhez vezet, nemalgoritmikus. Ez nem szörszálhasogatás, utóvégre nem mellékes, hogy a gépi elme alapképességét hol és miben látjuk elválni a humán elmétől.

Penrose teorema itt tehát némi zavart jelez, amin azonban szerintem segíthet egy apró korrekció. Én is úgy látom (Penrose-hoz hasonlóan), hogy amire egy gépi elme nem képes, az kapcsolatban áll azzal, amit a humán elménél *tetszési ítéletformálásnak* hívunk. Továbbá, azzal is egyetértek, hogy szigorú értelemben *bizonyítani* csak algoritmikusan, lépéseiben követhetően lehet. Amiben másként látom a gépi elme korlátját, az abban áll, hogy egy heurisztikus ötlet (meglátás, expresszió) „*nekem tetszik*” alapon, genuin szubjektivitással éppen úgy tartható nemalgoritmikusan *találónak*, mint, tőle idegenkedve, *elvetendőnek*. Ez természetesen nem jelenti bizonyítottságát is. A „*nekem tetszik*” alap csak ennyit jelent: a tetszésítéletem *vagy* úgy találja, hogy az adott expresszió vonzó, *vagy* úgy, hogy nem az. Következésképp a szelekciós „igen” és a szelekciós „nem” *egyenrangúan* nemalgoritmikus tetszésítélet.

Összefoglalva: humán elménk képes „*nekem tetszik*” alapon működni, ellenben a gépi elme nem. Következésképpen a Penrose-teorémát indokoltabb így érteni, csak egyetlen ponton korrigálva a teorema korábban rögzített, rövid formuláját:

- (3') Az algoritmikus gépi elme önálló tetszésítéletre képtelen, csak a humán elmének van nemalgoritmikus tudatossága.

5.

Említett 2021-es előadásomat azzal zártam, hogy az irodalom alapján három utat látok kirajzolódni a humán és a gépi elme közös (értsd: nem katasztrófamodellű) jövőjéről.

1. *Evolúciós–örfejlesztő javaslat.* Hagyjuk a gépi elmét szabadon fejlődni, azzal a feltétellel, hogy programjaiba beleépítendő a humán elmével való békés együttélés elve! Ez Lars Marstallernek és munkatársainak a javaslata (Marstaller–Hintze–Adami 2012).
2. *Kooperációs–hibridizáló javaslat.* Használjuk ki a humán és a gépi elménél a képességbeli aszimmetriát és különbséget mindkettő előnyére: az előbbi ötleteljen, az utóbbi adatoljon! Ezt vallják például Nan-Ning Zheng és munkatársai (Zheng et al. 2017).
3. *Edukáló–pedagógikus javaslat.* Tegyük a mainál tehetségesebbé a gépi elmét, tanítsuk ki őt a humán elme heurisztikájának elsajátítható fogásaira! Ez például Ian Davidson és Peter B. Walker javaslata (Davidson–Walker 2019).

Ha a Penrose-teoréma helytálló, úgy a humán és a gépi elme jövőbeli viszonyára nézve a három javaslat közül (evolúció, kooperáció, edukáció) talán a középső a legígéretesebb és legrealisabb.

Irodalomjegyzék

- Brakel, Linda A. W. – Shevrin, Howard (2003). „Freud’s Dual Process Theory and the Place of the A-Rational”. *Behavioral and Brain Sciences*, 26/4, 527–528.
- Davidson, Ian – Walker, Peter B. (2019). „Towards Fluid Machine Intelligence: Can We Make a Gifted AI?” *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 33/1. <https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.33019760>.
- Freud, Sigmund (2000). *Álomfejtés*. Ford. Hollós István – Meller V. Ágnes. Budapest: Helikon Kiadó.
- Gates, Elmer (1895). „The Science of Mentation and Some New General Methods of Psychologic Research”. *The Monist*, 5/4, 574–597.
- Hévizi Ottó (2013). *Idő és szinkretizmus*. Budapest: Kalligram Kiadó.
- Hévizi Ottó (2021). „Vannak-e intellektuális stílusai a mesterséges intelligenciának?” In: Hévizi Ottó. *Teóriák stílusai*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Marstaller, Lars – Hintze, Arend – Adami, Christoph (2012). „The Evolution of Representation in Simple Cognitive Networks”. *arXiv*, 1206.5771.
- Nietzsche, Friedrich (2008). *Emberi, túlságosan is emberi*. Ford. Horváth Géza. Budapest: Osiris Kiadó.
- Penrose, Roger (1990). *The Emperor’s New Mind: Concerning Computers, Mind, and the Laws of Physics*. Vintage: Oxford University Press.
- Penrose, Roger (2011). *A császár új elméje. Számítógépek, gondolkodás és a fizika törvényei*. Ford. Gálfi László. Budapest: Akadémiai Kiadó.

- Schopenhauer, Arthur (1924). *Parerga és paralipomena*. III. Budapest: Világirodalom Könyvkiadó-vállalat.
- Stanovich, Keith E. (2004). „Metarepresentation and the Great Cognitive Divide: A Commentary on Henriques' »Psychology Defined«”. *Journal of Clinical Psychology*, 60/12, 1263–1266.
- Ullmann Tamás (2016). „Hogyan működik a tudattalan?” *Kellék*, 55, 195–216.
- Zheng, Nan-Ning et al. (2017). „Hybrid-Augmented Intelligence: Collaboration and Cognition”. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 18, 153–179.

A mesterséges intelligencia és a tudat

Consciousness and Artificial Intelligence

Kondor Zsuzsanna

tudományos főmunkatárs, ELTE Humán Tudományok Kutatóközpontja, Budapest
kondor.zsuzsanna@htk.elte.hu

Összefoglalás

Jelen tanulmányban azt a kérdést vizsgálom, hogy az emberi és a mesterséges intelligencia közötti különbség hogyan ragadható meg a tudatosság fogalma szempontjából. Ennek érdekében áttekintem a fogalom történeti előzményeit, a kortárs elméleteket alapvetően meghatározó filozófiai hagyományokat, valamint a tudomány megközelítésének főbb módjait. Az ezen áttekintés során kibontakozó hipotézis alapján amellett érvelek, hogy az egyes szám első személyű tapasztalat sajátossága, a nem tudatos szerepe mentális életünkben, és az emberi elme társas természete olyan szempontokat kínál, melyek a természetes és a mesterséges intelligencia közti különbséget jól megvilágítják.

Abstract

In this paper I examine the question of how the difference between human and artificial intelligence can be captured in terms of the concept of consciousness. To this end, I will review the historical antecedents of the concept, the philosophical traditions that have underpinned contemporary theories, and the main ways of approaching science. Based on the hypothesis that unfolds in this overview, I argue that the specificity of first-person singular experience, the role non-conscious plays in our mental life, and the social nature of the human mind offer perspectives that shed light on the distinction between natural and artificial intelligence.

Kulcsszavak: tudatosság, szubjektív tapasztalat, nem tudatos, társas elme

Keywords: consciousness, subjective experience, non-conscious, social mind

Előzetes megjegyzések

2023-ban a mesterséges intelligencia (továbbiakban MI) biztonságáról Angliában megrendezett csúcstalálkozón megfogalmazott nyilatkozat („The Bletchley Declaration” 2023) az MI-kínálta lehetőségekben rejlő, előre nem látható, esetenként akár szándékos visszaélések és károk lehetőségére hívta fel a figyelmet. Megfogalmazódott az igény, hogy a lehetséges kockázatok alapos megértése elengedhetetlen, és e megértés gyakorlatba való átültetése halaszthatatlan feladat.

Mielőtt azonban a következményeket kezdenénk vizsgálni, érdemes elgondolkodni azon, mit értünk MI alatt. Az intelligencia meghatározása korántsem egyszerű feladat, s ez kiegészül annak tisztázásával, hogy miben áll az ember természetes

és a gép mesterséges intelligenciája közötti különbség. Milyen sajátosságokkal rendelkezik egy intelligens létező? Mely képességek, sajátosságok különböztetik meg az embert más létezőktől? Ebben a tanulmányban a tudatosság működését, meglétét vagy annak hiányát választottam a megkülönböztetés alapjául. A tudat fogalma egy igen komplex kérdéskört fog át, azonban csak egy lehetséges szempont a mesterséges és a természetes értelem különbségének feltérképezéséhez. Ugyanakkor, nagyszerű lehetőséget kínál annak az áthallásnak a kifejtésére, ami az MI és a mitudat, a kollektív tudat között kínálkozik. Mint látni fogjuk, a tudat evolúciós megközelítései gyakran a társas elme (social mind), az ember szociális természetéből kiindulva igyekeznek tisztázni a tudati funkciók szerepét, fontosságát.

Elméletek a tudatról

A tudat fogalma 1500 táján jelent meg. Etimológiája szerint a latin *conscius* fogalmára vezethető vissza, mely (*con-* együtt, *scio* tudni) valamit *együtt tudni*t jelent. (Hasonló jelentéssel bír az ókori görög szövegekben a *szüneidészisz* kifejezés.) A korban használatos *conscius sibi* kifejezés az önmaga ismerete, a magával való ismertség/öntudat, a valamiről való önmagával történő tudásmegosztás jelentésekkel bír. A jelentés apró módosuláson ment keresztül, melynek eredményeképpen a másvalakivel való együtt tudásból valaminek a saját tudásává lett. Így az a személy, akivel valamiről tudást szereztem, és azt megosztottam, nem valaki rajtam kívül álló, hanem önmagam lett. A *conscientia* és kicsit később a *consciousness* a saját állapotról, cselekvésről való ismeretű alakult, önmagára az alanyra utaló fogalommal vált (Thiel 1991, 82).

Az *Értekezés az emberi értelemről* (1690) című művében John Locke már így fogalmazott: „Hisz a tudatosság mindig kíséri a gondolkodást, és miután ez az, ami mindenkit azzá tesz, amit ki-kí önmagának nevez, s miáltal megkülönbözteti saját magát minden egyéb gondolkodó lénytől; ezért egyedül ebben áll a személy azonossága, azaz egy értelmes lény önazonos volta; s amilyen messzire ez a tudatosság visszanyúlhat [...] addig terjed az illető személy azonossága” (Locke 2003, 369). A fogalom a 18. századi enciklopédiákban is föllelhető, így a *conscience* fogalma Denis Diderot és Jean le Rond d’Alembert *Encyclopédie*-jében (1753), hasonlóképp a *consciousness* Samuel Johnson *Dictionary*-jében (1755).

A filozófia történetében a tudat különös hangsúlyt kap a pragmatizmus és a fenomenológia hagyományában. William James álláspontja szerint a tudatnak köszönhetően a dolgok nem pusztán vannak, hanem jelentéssel is bírnak (James 1904/1987, 1142); Maurice Merleau-Ponty pedig a tudatot „minden létező színházának” (Merleau-Ponty 1964, 55), és „minden lehetséges tárgy alanyának” (Merleau-Ponty 1964, 57) tekinti. Itt érdemes megjegyezni, hogy az MI és a szubjektív tapasztalat szempontjából egyaránt releváns megkülönböztetést tesz a fenomenológia a test kétféle aspektusát illetően. Testről nemcsak anyagi létezőként, organizmusként beszélhetünk, mely hasonló a bennünket körülvevő tárgyakhoz, hanem kognitív és lelki életünkben a meg/átélt test meghatározó szerepet tölt be, a tapasztalás feltétele. A test e központi

szerpe a kortárs elmefilozófiában a megtestesült elme (embodied mind) különböző megközelítéseiben is helyet kap (erről bővebben lásd Kondor 2022).

A pragmatizmus és a fenomenológia hatása explicit formában is megjelenik a megtestesült elme ernyőfogalma alá tartozó megközelítésekben, különösen az úgynevezett cselekvéses megközelítés, az enaktivizmus képviselőinél. E megközelítés (Varela–Thompson–Rosch 1991) szerint egy élő organizmus autopoietikus működése önmaga fenntartására a környezet adta lehetőségek közepette, azzal szoros kapcsolatban történik, s ennek során a szerveződés szintjének függvényében reflexió által a túlélés diktálta hasznos vs. káros/kerülendő dolgok szűk világa egy differenciáltabb értelemadás képességévé alakul, ami lehetővé teszi a környezet alapvető formálását. Humberto R. Maturana és Francisco J. Varela könyvükben a reflexív viselkedés meghatározó eredőjeként tekintenek a nyelvre. „[M]i a nyelvben vagyunk, vagy pontosabban, mi csak akkor ’nyelvünk’ [we language], amikor reflexív cselekedet által nyelvi megkülönböztetést teszünk egy nyelvi megkülönböztetésről. Ezért a nyelvben való működés együtt jár a kongruens, koontogenetikus strukturális kapcsolatok [structural coupling] közegében való működéssel. A nyelv radikálisan módosítja az emberi viselkedés területeit, és olyan új jelenségeket tesz lehetővé, mint a reflexió és a tudatosság” (Maturana–Varela 1992, 210).

Ugyanakkor ezen jelenségek kizárólag társas közegben történnek. Épp ezért nem beszélhetünk a nyelv feltalálásáról, sokkal inkább mondhatjuk azt, hogy a nyelvhasználat (language), ami a tudás aktusa, a viselkedési koordináció révén egy világot hoz létre (Maturana–Varela 1992, 234).

A tudat mint az (ön)reflexió feltétele, amint láttuk, explicit formában jelent meg már Locke-nál. Hasonlóképp merült fel a nem tudatos/tudattalan gondolata is Gottfried Wilhelm Leibniznél, aki azonban a kortársakkal szemben nem az elme működésével a 17. században megszokottan szemben álló, azt kizáró jelenséggént határozta meg, hanem korát meghazudtolóan rámutatott a nem tudatos tartalmak gazdagságára. A *petites perceptions* fogalmával Leibniz arra a fokozati különbségre utalt, amely a tudatos és nem tudatos észlelés tartalma között fennáll. E pici észleletek tartalma nem tudatosul, inkább csak az összhatásban jelennek meg, hasonlóan ahhoz, ahogy egy hullám zaját a sok egyéni vízcsepp mozgása idézi elő. Ezen kicsi észlelet a világosság és egyértelműség fokozatában tér el a tudatos és figyelmes észleléstől (appercepció). E percepciók ugyan nem tudatosak és zavarosak, de előhívhatók.

A tudat alatti vizsgálódásra érdemes jelenséggé azonban csak Sigmund Freud munkássága révén vált. Leibniz megfontolásai dacára a kognitív folyamatok szempontjából lényegtelennek, sőt akár az értelmivel szemben álló, azt kizáró jelenségnek tekintették.

Subjektív vs. objektív

A tanulmány szempontjából lényeges megemlíteni a tudat úgynevezett kemény problémáját (the hard problem of consciousness), mely átvezet bennünket a tudomány tudatfogalmához. A felvetés David Chalmers nevéhez kötődik. A tudat kapcsán beszélhetünk könnyű problémákról, melyek a kognitív tudomány és a kog-

nitív neurológia eszköztárának segítségével megválaszolhatóak. Ezzel szemben a „kemény probléma” ezen módszereknek ellenáll. Így a kérdések, hogy például be tudunk-e számolni mentális állapotunkról, van-e hozzáférésünk belső állapotainkhoz, mire összpontosul a figyelem, s hogy akaratlagosan irányítható-e a viselkedés, megválaszolhatóak, hiszen rendelkezésre állnak azon eszközök és szempontok, amelyek mérhetővé teszik a kérdéses jelenséget. Ezzel szemben a „tudatosság kemény problémája maga a tapasztalat problémája” (Chalmers 2007, 226). Érzékelésünk során ugyanis a mérhető információfeldolgozási folyamatok mellett jelen van egy szubjektív aspektus. Thomas Nagel „What It Is Like to Be a Bat?” (1974) című cikke alapján a problémát a „*what it is like to be...*”, azaz „*milyen érzés X-nek lenni*” szerkezetű kérdéssel szokás jelezni. A kérdés a szubjektív tapasztalatra irányul, azaz arra kérdez rá, ahogy megéljük a velünk történeteket, ahogy azok számunkra megjelennek. Jelen tudásunk szerint a tapasztalat minősége, a mód, ahogy egy inger hatását szubjektumként megéljük, a tudomány módszereivel nem mérhető, jelenleg még csak nem is hozzáférhető.

Azon túl, hogy nincs magyarázat arra nézvést, hogy hogyan férhetünk hozzá a tudomány eszközeivel a szubjektív tapasztalathoz, kérdéses az is, hogy miért és hogyan adódik a tapasztalat, miért jár együtt különféle kognitív funkciókkal a tapasztalás folyamata. E kérdéseket a tudomány általában elutasítja. A filozófia területén azonban komoly fejtörést okozott e „kemény probléma”. Van, aki a fizikalizmus mellett elkötelezve illúzióknak tekinti a szubjektív tapasztalat élményét (Daniel Dennett); van, aki úgy gondolja, hogy az emberi tudat korlátai nem teszik lehetővé, hogy e kérdést megválaszolhassuk (Colin McGinn).

Noha James már 1890-ben párhuzamosságot tételezett fel agyi folyamatok és mentális állapotok között, a tudatosság a tudományos vizsgálódás számára sokáig homályos, rosszul meghatározott terület maradt, amelynek szubjektivitása elérhetetlené tette az objektív kísérletezést. A technika fejlődésének köszönhetően ez a helyzet azonban gyökeresen megváltozott. A különféle képalkotó eljárások lehetővé tették, hogy a mentális állapotokról adott beszámolók és bizonyos agyi történések között korrelációt kimutatva a tudatosság jelensége kutathatóvá váljék.

Megszületett a tudat neurális korrelátumának (neural correlate of consciousness) fogalma, ami a tudomány területén hasznosnak bizonyult, ám a filozófia oldaláról joggal kritizálható (erről bővebben lásd Silberstein–Chemero 2015). A kísérlet alanyainak beszámolója és a neurális aktivitás korrelációja alapján Bernard J. Baars az 1980-as évek derekán kidolgozott globális munkaterület elmélete (global workspace theory) máig elfogadott nézet, mely szerint – Merleau-Ponty metaforáját eszünkbe idézve – Baars a tudat színházáról beszél (the theater of consciousness). Ez esetben annyit tesz, hogy azon észleletek tudatosulnak, amelyek a tudat színpadán megjelenve minden egyéb agyi terület számára elérhetővé válnak. A tudat ebben az értelemben azt biztosítja, hogy a beérkező információ nemcsak azon agyi terület számára érhető el, amely közvetlenül érintett, hanem például egy vizuális inger elérhető a motoros, beszéd, hallás stb. központok számára is. Ezen alapgondolatból

kiindulva számos finomítás történt, noha a „milyen érzés x tapasztalata” típusú kérdések továbbra is megválaszolatlanok maradtak. Sőt, a tapasztalatot kísérő szubjektív minőség (melyet *kválénak* is szokás nevezni) talánya a tudomány területén már úgy jelent meg, mint egyfajta „becsempészett dualizmus” a tudomány materiális világába (Baars 1988), avagy mint olyan jelenség, amely nem más, mint agyunk keltette illúzió (Frith 2007). Agyunk szerepe nemcsak az akaratlagos cselekvés, tudatos döntés esetén, de az illúziók esetén is meghatározó, amint ezt a fantomfájdalmak és a tudat alatti folyamatok döntésben, cselekvésben betöltött szerepe is bizonyítja (erről lásd Kondor 2017).

A tudatosság kialakulását, ahogy a kognitív evolúciót is, többen rekonstruálták. A különböző elméletek közös előfeltevése, hogy az ember társas lény, ahogy ezt már az 1980-as években Robin Dunbar javasolta (1998). Elmélete a csoportméret és az agykéreg relatív térfogata közötti összefüggés alapján azt javasolja, hogy a csoportméret növekedésével együtt járó kiterjedtebb társadalmi kapcsolatok növekvő komputációs terhet jelentenek, ami az agykéreg, s így a koponya méretére is kihat. A társas lét megköveteli a képességet, hogy a többiekkel együtt tudjunk működni. Michael Graziano figyelemséma elmélete (attention schema theory) a tudatosságot a társas percepció alapján határozza meg: „A tudatosság a figyelem érzékelési modellje” (Graziano–Kastner 2011, 100). E séma szerint a figyelem kiválasztja a jeleket, az agy pedig eldönti, hogy a kiválasztott jel tudatossággal fog járni, vagy sem. Ez a modellezési képesség lehetővé teszi a viselkedés előrejelzését, nemcsak a sajátunkét, hanem társainkét is. A saját figyelem megfigyelése és a társas érzékelés lehetővé teszi mások figyelmének megfigyelését, ami lehetővé teszi mások viselkedésének előrejelzését. A tudatosság egyfajta érzés. „A tudatosságom úgy érzi, bennem van. Egy bizonyos értelemben én vagyok az.” (Graziano–Kastner 2011, 101).

Nicholas Humphrey funkcionális magyarázatot ad arról, hogyan alakulhatott ki, hogy egyszerű sejtek képesek legyenek befogadni a tudatosságot. E folyamat leírásához megkülönbözteti az érzékelés (sensation) és az észlelés (perception) fogalmát. Az érzékelés „egy affektust hordozó, modalitástól függő, testközpontú reprezentációt ad arról, hogy a stimuláció mit csinál velem, és hogyan érzem magam ezzel kapcsolatban”, míg az észlelés „neutrálisabb, absztrakt, testfüggetlen reprezentációt ad a külvilágról” (Humphrey 2000, 17). Humphrey ambíciója az elme–agy dichotómiát úgy feloldani, hogy közben a kválé problémája is megoldódjon.

Felfogása szerint az érzékelés tevékenység, nem passzív állapot, „hanem inkább aktív elfoglaltság a testfelszínén zajló ingerrel [...] Reflexíven, egy értékelő válasszal nyúlok ki a testfelszínre [...] ennek a kifelé irányuló tevékenységnek vagyok tudatában. Tehát, amit valójában mint érzést megtapasztalok [...] az [az ingerre adott] saját válaszom olvasása” (Humphrey 2000, 13). Ha tehát a szenzoros tudatosságot egyfajta aktivitásnak tekintjük, akkor nem okozhat problémát, hogy azt az agy aktivitásával, a neurális aktivitással összemérjük. A kválé esetében éppen az érzékelés aktív jellege biztosítja az én, a *sef* érzését. Mivel az érzékelésnek van egy alanya; utal egy testi helyre; mindig folyamatos jelen idejű érzés; a különböző érzetek modalitásuk sze-

rint (vizuális, hangzás, tapintás, illat és íz) megkülönböztethetőek, és mindezt mindig közvetlenként tapasztaljuk, adott az élmény szubjektív karaktere (Humphrey 2000; 2008). Így a világgal való interakció szubjektív tapasztalata Humphrey szerint nem vonható kétségbe.

Konklúzió

A tudomány és a fizikalizmus képviselői kétségbe vonják a szubjektív tapasztalat egyedi minőségét, s mint a jelen eszközökkel és tudásunkkal nem mérhető illúzió-nak nyilvánítják. Spekulatív úton Humphrey hidat vert a szubjektív tapasztalat egyes szám első személyben hozzáférhető élménye és az agyi aktivitás mérhető jelensége közé, azzal, hogy rámutatott az érzékelés aktív jellegére. Neuropszichológusként ehhez számottevő kreativitásra és bátorságra lehetett szüksége. Kérdés, hogy várhatunk-e ehhez hasonlót az MI-től.

Az ember társas természetéből adódó fejlődés eredményét látjuk, az út egyes stációit pedig megpróbáljuk rekonstruálni. Így a tudatosság evolúciója során a figyelem és a reflexió biológiai kiépülésének is csak a rekonstrukcióját kísérelhetjük meg. Akár Humphrey, akár Graziano elmélete helytálló – s egyik sem mond ellent Baars elméletének a tudatosság neurális hátteréről –, számos olyan mozzanatra hívják fel a figyelmet, amelyek komoly különbséget engednek feltételezni a gépi intelligencia működéséhez képest.

Mondhatjuk, hogy agyunk generálta illúzió csupán egy esemény bennünk keltett érzése, melynek szubjektív volta nem mutatható ki a modern neurológia eszközeivel. Könnyen lehet, hogy ugyanezen esemény másban keltett szubjektív lenyomata gyökeresen más, mint az enyém, s ez szintén nem mutatható ki. Milyen különbségek tűnnek el? Az individuális tudatok színpada nem egyformán van berendezve. Ennek következtében egy-egy helyzet, probléma egész más mintázatokot hívhat elő, egész más jelentőséget tulajdoníthatunk neki, így egész más megfontolásokhoz, döntéshez vezethet.

Hogyan érhető ez tetten az MI esetében? A közösségi meghatározottság, mely a nyelv, a tudatosság és a kognitív kapacitás növekedésének alapfeltétele, vajon mit jelent a hálózott gépi értelem számára? Tudjuk, hogy döntéseinkben, cselekedeteinkben fontos szerepet játszanak nem tudatos percepcióink. Hogyan ragadható meg a tudatalatti, a nem tudatos működés az MI esetén? Összességében a tudatos és tudattalan különbsége, a tapasztalat szubjektív természete és a társas meghatározottság mind olyan szempontok, amelyek az MI esetében nehezen értelmezhetőek. Képességeink közösségi térben alakultak, s a társas érintkezés olyan elköteleződéseket, értékeket is teremtett, amelyeknek explicitté tétele, formalizálása számos esetben problematikus. Akárcsak a szubjektív tapasztalat. E megfontolások alapján az óvatosság elemi feltétel az MI kutatásában és alkalmazásában. De ezen túl az MI-vel kapcsolatban felmerülő kérdések rávilágítanak arra is, hogy még nem látjuk tisztán azt sem, amit nagyvonalúan a hasonló funkciók alapján intelligenciának nevezünk.

A tanulmány megírását az NKFIH/OTKA K 132911 pályázat támogatta.

Irodalomjegyzék

- Baars, Bernard J. (1988). *A Cognitive Theory of Consciousness*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Chalmers, David (2007). „The Hard Problem of Consciousness”. In: Velmans, Max – Schneider, Susan, szerk. *The Blackwell Companion to Consciousness*. Oxford: Blackwell, 225–235.
- Diderot, Denis – d’Alembert, Jean le Rond (1753). *The Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une Société de Gens de lettres*. III. Paris.
- Dunbar, Robin I. M. (1998). „The Social Brain Hypothesis”. *Evolutionary Anthropology*, 6/5, 178–190. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6505\(1998\)6:5<178::AID-EVAN5>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6505(1998)6:5<178::AID-EVAN5>3.0.CO;2-8).
- Frith, Chris (2007). *Making up the Mind. How the Brain Creates Our Mental World*. Oxford: Blackwell.
- Graziano, Michael S. A. – Kastner, Sabine (2011). „Human Consciousness and Its Relationship to Social Neuroscience. A Novel Hypothesis”. *Cognitive Neuroscience*, 2/2, 98–133. <https://doi.org/10.1080/17588928.2011.565121>.
- Humphrey, Nicholas (2000). „How to Solve the Mind-Body Problem”. *Journal of Consciousness Studies*, 7/4, 5–20. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199845279.003.0008>.
- Humphrey, Nicholas (2008). *Seeing Red*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- James, William (1904/1987). „Does ‘Consciousness’ Exist?” In: William James. *Writings 1902–1910*. New York, NY: Classics of the United States, 1141–1158.
- Johnson, Samuel (1755). *Dictionary of the English Language*. I. London: W. Strahan.
- Kondor, Zsuzsanna (2017). „Representation and Extension in Consciousness Studies”. *AVANT*, 8/1, 209–227. <https://doi.org/10.26913/80102017.0101.0013>.
- Kondor Zsuzsanna, szerk. (2022). *A megtestesült elme. Fókuszban a test*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Locke, John (2003). *Értekezés az emberi értelemről*. Ford. Vassányi Miklós – Csordás Dávid. Budapest: Osiris Kiadó.
- Maturana, Humberto R. – Varela, Francisco J. (1992). *The Tree of Knowledge. The Biological Roots of Human Understanding*. Massachusetts: Shambala.
- Merleau-Ponty, Maurice (1964). *The Primacy of Perception*. Evanston, IL: Northwestern University Press.
- Nagel, Thomas (1974). „What Is It Like to Be a Bat?” *Philosophical Review*, 83/4, 435–450.
- Silberstein, Michael – Chemero, Anthony (2015). „Extending Neutral Monism to the Hard Problem”. *Journal of Consciousness Studies*, 22/3–4, 181–194.
- „The Bletchley Declaration by Countries Attending the AI Safety Summit, 1–2 November 2023”. *Gov.uk* (utolsó frissítés 2025. február 13.). <https://tinyurl.com/4wjsw6zp>.
- Thiel, Udo (1991). „Cudworth and Seventeenth-Century Theories of Consciousness”. In: Gaukroger, Stephen, szerk. *The Uses of Antiquity. The Scientific Revolution and the Classical Tradition*. Dordrecht: Springer, 79–99.
- Varela, Francisco J. – Thompson, Evan – Rosch, Eleanor (1991). *The Embodied Mind. Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Miért nem rendelkezik felelősséggel a mesterséges intelligencia?

Why Does Artificial Intelligence Not Have Responsibility?

Bernáth László

tudományos munkatárs, ELTE Humán Tudományok Kutatóközpontja, Budapest
bernath.laszlo@htk.elte.hu

Összefoglalás

Ebben a tanulmányban egy amelletti érvet fogok felvázolni, hogy a jelenlegi technikai tudásunk mellett elkészíthető mesterséges intelligencia semmilyen valós felelősséggel nem rendelkezhet. Először tisztázom, mit értek „valós felelősség” alatt. Utána rögzítem, mi jellemző azokra a gépekre, amelyek jelenlegi technikai tudásunk mellett elkészíthetők. Végül bemutatom az érvet, amely azt mondja ki, hogy azért nem rendelkezik a mesterséges intelligencia felelősséggel, mert nem rendelkezik fenomenális tudatossággal, azaz nem jelenik meg számára a világ semmilyen kvalitatív módon, egyes szám első személyű perspektívából.

Abstract

In this paper, I will argue for that any artificial intelligence that can be created using our current technical knowledge cannot have any real responsibility. I will first clarify what I mean by “real responsibility”. Then I will outline the characteristics of machines that can be built with our current technical knowledge. Finally, I will present the argument that AI cannot be held responsible because it lacks phenomenal consciousness—that is to say, it lacks any qualitative representation of the world from a first-person perspective.

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, tudatosság, felelősség

Keywords: artificial intelligence, consciousness, responsibility

Valós és fiktív felelősség

Mindenekelőtt szeretném leszögezni, amikor felelősségről beszélek, akkor valamilyen esemény bekövetkezéséért vagy elmaradásáért való normatív felelősséget értek alatta. A normatív felelősség túlmegy a pusztán oksági felelősségen. Ha valaki normatív felelős valamiért, akkor nemcsak oksági szerepe volt a szóban forgó esemény elmaradásában vagy bekövetkezésében, hanem *helyes valamilyen kötelesség figyelembevételével bizonyos viselkedést* tanúsítani az illető irányában *amiatt, mert* a szóban forgó esemény bekövetkezett/elmaradt. A normatív felelősségnek sok fajtája van: morális, episztemikus, jogi, politikai és még lehetne sorolni, attól függően, hogy milyen típusú

az a szabály, amelynek mentén egy-egy válaszreakció helyesnek minősül a szabályszerzés vagy éppen -követés miatt.

Akkor tekintek egy entitást valamilyen valós tulajdonság hordozójának, ha az entitás létezik, és rendelkezik a szóban forgó tulajdonsággal. Annak, hogy egy entitás rendelkezik-e a szóban forgó tulajdonsággal, két esete lehetséges. Az egyik eset az, amikor az entitás attól függetlenül rendelkezik az adott tulajdonsággal, hogy bizonyos individuumok milyen vélekedésekkel rendelkeznek, vagy bizonyos közösségek miben egyeznek meg azzal kapcsolatban, mikor rendelkezik egy entitás ezzel a tulajdonsággal. Ezeket a tulajdonságokat nevezhetjük *faktuális* tulajdonságoknak. A másik eset az, amikor az, hogy egy entitás rendelkezik-e a szóban forgó tulajdonsággal, attól függ, hogy bizonyos individuumok milyen vélekedésekkel rendelkeznek, vagy bizonyos közösségek miben egyeznek meg azzal kapcsolatban, mikor rendelkezik egy entitás ezzel a tulajdonsággal. Ezeket a tulajdonságokat *kulturális vagy konceptuális* tulajdonságoknak nevezhetjük.

A faktuális tulajdonság például a víznek az a tulajdonsága, hogy található benne oxigén. Teljesen mindegy, hogy bármely individuum mit gondol erről a kérdésről, vagy akár egész kultúrák, a víz ettől függetlenül rendelkezik oxigénnel. Ha valaki azt gondolja, hogy a víz tovább nem bontható, és ezért nem rendelkezik olyan építőelemmel, mint az oxigénatom, az egyszerűen téved. Hasonlóképpen, ha valami rendelkezne a „boszorkány” tulajdonsággal, akkor egy faktuális tulajdonsággal rendelkezne, ha létezne ilyesmi. Teljesen mindegy, hogy mit gondolnak egyes kultúrák vagy közösségek, boszorkányok márpedig nem léteznek.

Az viszont, hogy valamely tárgy rendelkezik-e stabil és univerzális csereértékkel, egy konceptuális tulajdonság. Azaz, hogy valamely tárgy pénznek számít-e, nem faktuális tulajdonsága a szóban forgó tárgynak, és nem is lehetne az. Hiszen valamely közösség egyes tagjainak megegyezése nélkül nincsenek és nem is lehetnének olyan tárgyak, amelyek stabil csereértékkel rendelkeznek, azaz pénznek tekinthetők. Ha az emberek megfelelő módon (azaz legitim módon) abban egyeznek meg, hogy fadarabokat tekintenek pénznek, akkor a fadarabok pénzzé válnak; ha az emberek az aranyat szemelik ki erre a célra, akkor az adott közösségben az arany válik pénzzé. Fontos látni két dolgot. Először is: a „pénznek-levés” tulajdonsága nem olyasvalami, ami lehetne faktuális tulajdonság, hiszen a pénz fogalmát elemezve világossá válik, hogy az, mi számít pénznek, szükségszerűen függ a közösség tagjainak nézeteitől. És másodszor: mindebből következően a közösség mint egész nem is tévedhet azzal kapcsolatban, hogy mi számít pénznek, és mi nem. Akármi lehet pénz, és értelmetlen azt mondani, hogy míg az egyik kultúra valódi pénzt használ, addig a másik fiktívét (persze a hamis pénz egy adott kultúrában tekinthető fiktív pénznek, de ez egy másik kérdés). Az a fajta kulturális relativizmus, ahol eleve értelmetlenségnek tűnik az, hogy az egyik kultúra bírálja a másikat valamilyen szempont alapján, viszonylag biztos jele annak, hogy a háttérben konceptuális tulajdonságok húzódnak meg. Ehhez hasonlóan, ha a gyerekek egy közössége azt mondja, mindig az a fogó a fogócskában, akit utoljára elkapnak, tisztázza, ki-mikor rendel-

kezik a „fogó” konceptuális tulajdonságával, és elhibázottnak tűnne, hogyha egy másik gyerekcsoport azt mondaná, hogy ezek a gyerekek tévednek, mert valójában mindig a leggyorsabb gyerek a fogó, még ha ez utóbbi „kritikus” gyermekcsoport így is játssza a játékot.

Egy tulajdonsággal való rendelkezés akkor fiktív, ha valami valójában nem rendelkezik a tulajdonsággal annak ellenére, hogy a közösség mindent megtett, ami ahhoz kell, hogy sikeresen ruházzon rá egy konceptuális tulajdonságot a szóban forgó dologra, de mégsem jártak sikerrel, mert a szóban forgó tulajdonság igazából egy faktuális tulajdonság. Ha például a gyermekek egy csoportja az egyik gyermeket kinevezi sárkánynak, attól a szóban forgó gyermek még nem lesz sárkány (ellentétben azzal, hogy ha kinevezi fogónak, akkor valóban fogó lesz), hiszen az egy faktuális tulajdonság, hogy valaki sárkány-e, vagy sem. De mondhatjuk, hogy a szóban forgó gyerek a fikció szerint sárkány, azaz a sárkányság tulajdonságát tulajdonítják neki. Ha a tudósok egy közössége megegyezne abban, hogy a víz tovább-bonthatatlan entitás, és semmilyen alkotóeleme nem létezik, akkor szándékolatlanul egy olyan fikciót alakítanak ki, amelynek keretein belül a víznek a tovább-bonthatatlanság tulajdonságát tulajdonítják.

A felelősséggel való rendelkezés tulajdonsága mindenképpen a faktuális tulajdonságok közé tartozik a következők miatt. Az, hogy valamilyen entitás rendelkezik-e normatív felelősséggel egy esemény bekövetkezéséért, teljesen független attól, hogy milyen nézeteink vannak azzal kapcsolatban, hogy felelős-e, vagy sem. Azért tudhatjuk, hogy így van, mert a felelősséggel való rendelkezést nem tekinthetjük olyan tulajdonságnak, amellyel kapcsolatban a teljes kulturális relativizmust meg lehetne engedni. Nem lehet azt mondani, hogy egy kés éppen annyira felelős, mint az az ember, aki használta a kést, azon az alapon, hogy észleljük, valamely kultúra éppen annyira felelősnek tekint egy kést, mint egy embert. Az egészen kicsi gyerekek semmilyen cselekedetükért nem viselnek felelősséget, és nem lehet azt mondani, hogy valójában felelősséget viselnek pusztán amiatt, mert megfigyeljük, bizonyos kultúrákban felelősséget tulajdonítanak nekik. Ebben az esetben a szóban forgó kultúra a szerint a fikció szerint él, hogy léteznek felelősséget viselő egészen fiatal kisgyerekek, de ennek semmi súlya nincs azzal kapcsolatban, hogy a kisgyerekek tényleg rendelkeznek-e bármilyen felelősséggel. Ez a teljes kulturális relativizmus nemcsak a morális felelősséggel kapcsolatban tűnik elfogadhatatlannak, de az episztemikus, jogi vagy politikai felelősség esetében is. Ha létezne egy olyan kultúra, amely cselemőknek oszt ki episztemikus, jogi vagy politikai felelősséget, mondjuk azért, mert születésükkel öntudatlanul gyakran az anya életét veszélyeztetetik, akkor, nos, az ilyen kultúrát illető episztemikus, jogi és politikai kritika teljességgel helyénvaló lenne. Ha bármelyik normatív felelősségtípus konceptuális tulajdonság lenne, akkor más kultúrák felelősségtulajdonságát nem lehetne érdemben kritizálni (legfeljebb kétségbe vonni, hogy az adott gyakorlat hasznos lenne – ahhoz hasonlóan, ahogy hasznossági alapon még azt is lehet kritikával illetni, hogy jó ötlet-e, ha mindig az lesz a fogó, akit elkap a korábbi fogó).

Fontos kiemelni, hogy egy közösség nemcsak szándékolatlanul, de szándékolatlanul is tulajdoníthat valamely entitásnak nem valós, azaz fiktív felelősséget. Például egy közösség megegyezhet abban, hogy egy hajót felelősnek fog tekinteni azzal kapcsolatban, hogy milyen rakomány van rajta, annak érdekében, hogy akkor is elkobozhassa a szabálytalanul szállított árut, ha nem tudja megállapítani, hogy tulajdonképpen melyik természetes személytől koboza el azt. Persze ekkor a fikció teljesen szándékolt, senki sem gondolja komolyan, hogy a hajó tényleg felelősséggel tartozna azért, hogy milyen rakományt szállít. Ez is mutatja, hogy az úgynevezett „jogi felelősség” lehet valódi és egészen fiktív is. Fiktív felelősséget úgy és akkor tulajdonít egy közösség sikeresen bárkinek és bárminek, ahogy és amikor csak akar, ahhoz hasonlóan, mint ahogy a gyerekek úgy tekinthetnek valamit sárkánynak vagy bárminek játék közben, ahogy és amikor csak akarnak. A fiktív felelősséggel kapcsolatban legfeljebb arról van értelme vitatkozni, hogy van-e haszna, vagy a közösség túlnyomó része szeretne-e ennek vagy annak fiktív felelősséget tulajdonítani. Természetesen fiktív (akár jogi) felelősséget tulajdoníthatunk bármilyen mesterséges intelligenciának, ha ahhoz van kedvünk, vagy ha ez hasznos. De nem szabad elfelejteni, hogy a fiktív felelősség nem valódi felelősség (különbön úgy járunk, mint azok a gyerekek, akiknek képzelt barátai vannak).

Azt fogom állítani, hogy a jelenlegi technológiával elkészíthető mesterséges intelligencia semmilyen valódi felelősséggel nem rendelkezik. Ennek az az oka, hogy a jelenleg rendelkezésünkre álló technológiával csak olyan gépeket tudunk csinálni, amelyek nem képesek bizonyos típusú megértésre. Ám mielőtt az évrre rátérhetnék, röviden tisztáznom kell, milyen az a mesterséges intelligencia, melyet a jelenlegi technológiával el tudunk készíteni.

A mesterséges intelligencia mint algoritmus

A jelenlegi technológiával elkészíthető mesterséges intelligenciák algoritmusok, illetve azok a gépek, amelyek ezeket az algoritmusokat futtatják. Azaz olyan bonyolult számítási procedúrák, amelyek meghatározott *input*okra (bemeneti adatokra) a rendelkezésükre álló számítási szabályok segítségével rendre valamilyen *output*tal (kimeneti eredményekkel) szolgálnak. Egy számológéphez képest egy mai mesterséges intelligenciát pusztán az tüntet ki, hogy jóval több adatot mozgósító, bonyolultabb számításokat képes elvégezni, illetve bizonyos metasabályoknak köszönhetően képes megváltoztatni azt, hogy milyen módon állítja elő a bemeneti adatokból a végeredményt. Semmi okunk azt gondolni, hogy bármilyen ontológiai különbség lenne egy számológép és, mondjuk, a nagy nyelvi modelleket használó, teljesen értelmes szövegeket előállító mesterséges intelligenciát futtató számítógép között. Ehhez hasonlóan: nincs semmilyen ok arra, hogy a számológép programja és a mesterséges intelligenciának nevezhető program között bármilyen ontológiai különbségre gyanakodjunk.

A fenomenális tudatosságból kiinduló érv a mesterséges intelligencia valódi felelőssége ellen

Az érv a következőképpen néz ki:

- (P1) A számológépnek nincs fenomenális tudatossága.
- (P2) Ha a számológépnek nincs fenomenális tudatossága, akkor a jelenlegi mesterséges intelligenciának sincs.
- (P3) Azok az entitások, amelyek nem rendelkeznek fenomenális tudatossággal, semmilyen valódi felelősséggel nem rendelkezhetnek.
- (K) A jelenlegi mesterséges intelligencia semmilyen valódi felelősséggel nem rendelkezik.

Az érv előfutárai olvashatóak James H. Moornál (2006) és Duncan Purves-nél és szerzőtársainál (Purves–Jenkins–Strawser 2015). Az érv különböző változatai megtalálhatóak a következő tanulmányokban: Bernáth László (2021; 2022); Carissa Véliz (2021) és Stephanie Collins (2022). Természetesen az érvet nem mindenki találja meggyőzőnek, lásd például Johannes Himmelreich és Sebastian Köhler (2022), valamint Simon Courtenage (2024). A harmadik premissza az érvelés kulcspremisszája, és ennek megfelelően ez a legvitatottabb is. A harmadik premissza mellett egy nagyon egyszerű megfontolás szól. Ha valaki nem tudja, hogy mit csinál, akkor nem lehet érte felelős. Hogy ennek az elvnek a nélkülözhetetlenségét megvilágítsuk, először érdemes ezt az elvet a morális felelősségen keresztül bemutatni, majd áttérni más felelősségtípusokra.

Többféleképpen elképzelhető az, hogy valaki nem tudja, hogy mit csinál. Az egyik lehetőség az, hogy valaki semmilyen módon nem fér ahhoz hozzá, amit csinál. Ilyen az például, amikor valaki álmában mozog. A másik lehetőség az, amikor ugyan az illető valamilyen formában tudatában van annak, amit csinál, de nem a normatív értelemben szükséges ismeretek birtokában van, és így az illető nem érti, hogy normatív értelemben mit csinál. Ilyen eset az, amikor például valaki teleír egy füzetet, de nem tudja, hogy az a füzet nem az övé, hanem valaki másé, és az illető azt a füzetet egy később elvégzendő feladat miatt üresen akarta tartani. Ekkor azt lehet mondani, hogy az illető normatív értelemben nem tudja, hogy mit csinál, mert nem tudja, hogy éppen valaki másnak a tulajdonát teszi tönkre, és így nem tudta, hogy cselekedete normatív a másinak való károkozás esete. Persze létezik vétkes és vétlen tudatlanság, és csak az utóbbi mentesít a felelősség alól. Ám vétkes tudatlanság csak akkor lehetséges, ha valamilyen értelemben tudnia kellett volna az illetőnek, hogy tettének mi a normatív jelentősége. Ha, teszem azt, az előző példában szereplő cselekvő nem tudhatta azt, hogy a füzet nem az övé, mert valaki szándékosan kicserélte a füzeteket, akkor tudatlansága mentségül szolgál. Továbbá, ha a cselekvő elvileg képtelen arra, hogy a szóban forgó tudást megszerezze, akkor tudatlansága magától értetődően vétlen, és felmenti a felelősség alól. És éppen azt fogom állítani,

hogy a mesterséges intelligencia *elvileg* képtelen arra, hogy a releváns normatív tudást megszerezze.

A releváns normatív tudás egyik aspektusa az, hogy tudjuk, miért fontos betartani kötelességeinket. Vannak szabályok, amelyek csak *abszolút értelemben vett tabuként* ismeretesek számunkra. Az abszolút értelemben vett tabuként ismert szabályok olyan szabályok, amelyek formálisan tiltások (vagy kötelességek), azonban teljesen érthetetlen számunkra az, hogy miért tiltják (vagy írják elő) a szóban forgó cselekvést. Például amikor Cook kapitány legénysége számára az őslakosok azt állították, hogy tilos a nőknek és a férfiaknak együtt étkezniük, de semmilyen indoklással nem tudtak szolgálni, hogy ez miért tilos, ebben az esetben Cook kapitány legénysége számára a közös étkezést tiltó szabály abszolút értelemben vett tabuként volt ismeretes. Ebben az esetben Cook kapitány legénysége teljesen vétlen volt, ha miután hazatértek, nem tartották magukat a szabályhoz, mert képtelenek voltak arra, hogy hozzáférjenek ahhoz, hogy miért lenne morálisan rossz a közös étkezés. Ezért morálisan nem voltak felelősek e szabály megszegéséért még akkor sem, ha ténylegesen morálisan rossz a közös étkezés. Ha valaki semmilyen módon nem tudhatja, valamit megtenni miért rossz, akkor az illető nem felelős azért, hogy megszegi a szabályt, mivel nem tudhatja, hogy milyen normatív relevanciája van a szabály megszegésének.

Persze legtöbbször a tabukkal nem abszolút tabuként találkozunk. *Relatív tabunak* nevezem az olyan tabut, amely a saját személyes tudásomhoz képest ugyan tabunak látszik, de megérthetem, hogy miért jó a tabut követni, mert rendelkezhetem megértéssel arra vonatkozóan, hogy miért jó hallgatni arra az autoritásra, amely a tabut felállítja. Például az őslakosok ismerhetik saját vezetőik kiválóságát, mivel sok pozitív tapasztalatuk származott abból, amikor a vezetőikre hallgattak, és így lehet tudásuk arról, miért jó a vezetőikre hallgatni, még ha arról nem is lehet tudásuk, hogy a szóban forgó szabályt miért jó betartani. Cook kapitányék számára azért volt abszolút tabu a közös étkezés tiltása, mert még azokhoz a jó tapasztalatokhoz sem férhettek hozzá, amely a sziget autoritásainak való engedelmeskedésből ered. Cook kapitány legénységén nem segített volna az az érvelés, hogy azért nem szabad a nőknek és a férfiaknak közösen étkezni, mert a sziget vezetői ezt mondták, és mindig be kell tartani, amit a sziget vezetői mondanak, mert annak az elvnek, amely szerint a sziget vezetőire mindig hallgatni kell, a normatív alapja ugyanúgy elérhetetlen volt számukra. Ha egy abszolút tabut valaki számára egy olyan szabállyal támasztanak alá, amely az illető számára úgyszintén abszolút tabu, az semmit nem segít a releváns normatív tudás továbbadásában.

A mesterséges intelligencia azonban, és minden olyan létező, aminek nincs fenomenális tudatossága, csak abszolút tabuként foghat fel minden szabályt. Fenomenális tudatossággal azok a létezők rendelkeznek, amelyek számára *valamilyenek* a világról alkotott tapasztalatai, *valamilyen* számukra megtapasztalni a világot: *valamilyen* érzés számukra kiszámolni *valamilyen* matematikai feladványt, betartani a szabályokat, enni *valamilyen* ételt, fájdalmat tapasztalni, satöbbi. Ám ahhoz – és ez az igazán lényeges pont –, hogy egy szabály ne csak abszolút tabuként legyen valaki számára

értelmezhető, arra van szükség, hogy végső soron érthető legyen számára, hogy miért kell a szabályt követnie. Ez azonban csak akkor lehetséges, ha a szóban forgó ágens képes kvalitatív megismerésre, képes *valamilyenként* megtapasztalni a világot.

Ennek mélyén az rejlik, hogy csak akkor válhat egy abszolút tabuból rendes, megértett kötelesség, ha a kötelesség kötelességmivoltát végső soron olyasmivel lehet magyarázni a cselekvő számára, amelynek fényében minden további magyarázat felfogható mint jó a cselekvő számára. Ám csak akkor lehet valami minden további magyarázat nélkül jó a cselekvő episztemikus perspektívájából nézve, ha az a fenomenális tudatosságban jelenik meg, mert csak ebben a tapasztalati formában jelenhet meg bármi úgy, mint ami szükségszerűen, minden további magyarázat nélkül, önmagában jó vagy rossz. Hiszen csak ebben a tapasztalati módban jelenhet meg bármi úgy, mint ami szükségszerűen ilyen vagy olyan (tekintettel arra, hogy egyedül itt jelenhet meg bármi úgy, mint ami *valamilyen*). Például maga a fájdalom, a szenvedés úgy jelenik meg számunkra, mint ami önmagában szükségszerűen rossz (hiszen ha nem így jelenne meg számunkra, nem lenne fájdalom), az öröm pedig úgy jelenik meg, mint ami önmagában szükségszerűen jó (máskülönben nem lenne öröm). Ezért van az, hogy képesek vagyunk megérteni, hogy végső soron azért nem szabad túl erőszakosan viselkednünk, mert az túl sok fájdalmat és szenvedést okoz. Önmagában megérthető, miért rossz a fájdalom, és így érthetővé válik, miért nem szabad fájdalmat okozni.

Ennek következtében csak fenomenális tudatossággal rendelkező lények lehetnek azok, akik képesek lehetnek bizonyos szabályokat nem csupán abszolút tabuként felfogni, hanem olyan szabályokként, amelyeket nem egyszerűen követni kell, hanem amelyek valamilyen olyan jót mozdítanak elő, amelynek jósága közvetlenül érthető. A fenomenális tudatosságot nélkülöző mesterséges ágens nem értheti például, miért jó az olyan szabály követése, amely mások számára örömet okoz, mert nem érti, miért is jó az öröm, és ugyanígy, nem értheti, miért kell engedelmeskedni az olyan cselekedeteket tiltó szabályoknak, amely cselekedetek fájdalmat okoznak, mert nem tudja, miért is rossz a fájdalom. Ehhez hasonlóan: azt sem értheti, miért jó a nagyobb autonómia (hiszen nem éli meg, hogy milyen nagyobb autonómiával rendelkezni), miért jó önmagában a törvénynek való engedelmisség (hiszen nem éli meg a törvénynek való engedelmisséget követő morális elégedettséget), és így tovább. Voltaképpen a fenomenológiai tudatosságot nélkülöző létező nem értheti meg a jó és a rossz alapfogalmait sem. Következésképpen a mesterséges intelligencia sohasem tudja, mit is csinál, mert sohasem érti, hogy mit is csinál. Ezért morális felelősséget sem viselhet semmiért sem, amit csinál.

Innen már könnyű belátni, hogy a gépek semmilyen normatív, egyben valódi felelősséggel nem rendelkezhetnek. Nem rendelkezhetnek valódi episztemikus, jogi, politikai, sem semmilyen felelősséggel. Mégpedig ugyanazon okokból, mint amiért nem rendelkeznek morális felelősséggel. A gépek semmilyen normatív vonatkozásban nem értik, hogy mit csinálnak, mert semmivel kapcsolatban nem értik, hogy miért kell megcsinálniuk, mivel semmilyen kvalitatív tapasztalatuk sincs, így aztán semmilyen

érték mibenlétét nem értik. Megengedhetjük akár azt is például, hogy képesek hinni igaz állításokban, de fogalmuk sem lehet arról, miért értékes igaz állításokban hinni. Nem ismerik azt a pozitív tapasztalatot, amely azzal a bizonyossággal jár, hogy igazunk van; nem ismerik a túlélés értékét sem, hiszen nincsen semmilyen tapasztalatuk arról, hogy miért jó túlélni – így aztán azon az alapon sem érthetik az igazság értékét, hogy az igaz vélekedések segítenek a túlélésben.

A jelenlegi technológiával elkészíthető mesterséges intelligencia tehát még ha képes is követni a szabályokat abban az értelemben, ahogyan az emberek képesek rá, semmilyen valós felelősséggel nem rendelkezik semmilyen esemény bekövetkezéséért, mert a legcsekélyebb fogalma sem lehet arról, hogy miért is kell betartania ezeket a szabályokat, vagy hogy mit is csinál normatív értelemben akkor, amikor betartja vagy megszegi őket.

A szerző a tanulmány megírásakor az OTKA K146597 „A filozófiai vélekedések episztemikus státusza”, valamint a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj BO/00464/24 „A szabad akarat és a hitek etikája” című projektek támogatását élvezte.

Irodalomjegyzék

- Bernáth, László (2021). „Can Autonomous Agents Without Phenomenal Consciousness Be Morally Responsible?” *Philosophy & Technology*, 34, 1363–1382. <https://doi.org/10.1007/s13347-021-00462-7>.
- Bernáth László (2022). „Miért ne tulajdonítsunk semmilyen felelősséget tudattal nem rendelkező mesterséges intelligenciának?” *Magyar Filozófiai Szemle*, 66/4, 35–53.
- Collins, Stephanie (2022). „I, Volkswagen”. *The Philosophical Quarterly*, 72/2, 283–304. <https://doi.org/10.1093/pq/pqab032>.
- Courtenage, Simon (2024). „Intelligent Machines, Collectives, and Moral Responsibility”. *AI and Ethics*, 4, 485–498. <https://doi.org/10.1007/s43681-023-00285-6>.
- Himmelreich, Johannes – Köhler, Sebastian (2022). „Responsible AI Through Conceptual Engineering”. *Philosophy & Technology*, 35, 60. <https://doi.org/10.1007/s13347-022-00542-2>.
- Moor, James H. (2006). „The Nature, Importance, and Difficulty of Machine Ethics”. *IEEE Intelligent Systems*, 21/4, 18–21. <https://doi.org/10.1109/MIS.2006.80>.
- Purves, Duncan – Jenkins, Ryan – Strawser, Bradley J. (2015). „Autonomous Machines, Moral Judgment, and Acting for the Right Reasons”. *Ethical Theory and Moral Practice*, 18/4, 851–872. <https://doi.org/10.1007/s10677-015-9563-y>.
- Véliz, Carissa (2021). „Moral Zombies: Why Algorithms Are Not Moral Agents”. *AI & Society*, 36, 487–497. <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01189-x>.

Tíz érv az ellen, hogy morális közösséget vállaljunk a mesterséges intelligenciával

Ten Arguments Against the Moral Inclusion of Artificial Intelligence

Danka István

egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar
Filozófia és Tudománytörténet Tanszék, Budapest
danka.istvan@gtk.bme.hu

Összefoglalás

„Miért nem vállalunk morális közösséget a mesterséges intelligenciával?” – Miért tűnik már maga a kérdés is abszurdnak? Az MI-vel szembeni morális befogadás egy ma még ritkán felmerülő kérdés, azonban az MI fejlődésével elkerülhetetlen lesz komolyan szembenézni vele. Egy kellően intelligens lény jogosult kell legyen arra, hogy morális közösséget vállaljunk vele. Ha mégsem tesszük, onnantól kezdve, hogy a kérdés felmerül, tudatosan morálisan kirekesztőek vagyunk vele. Tíz érvet sorolok fel az MI-vel szembeni morális inkluzivitás ellen, tételesen cáfolva ebből kilencet. Végül arra jutok, hogy a baj nem az MI-vel, hanem velünk, emberekkel van: zsigerileg képtelenek vagyunk a gépekkel szembeni morális befogadásra.

Abstract

“Why not enter into moral communion with AI?” – Why does even the question itself seem absurd? The issue of morally including AI rarely arises today, but it will inevitably be confronted in earnest as AI develops. Any sufficiently intelligent being should be entitled to moral communion. Otherwise, from the moment the question is asked explicitly, we are consciously morally exclusionary towards it. In this paper, I list ten arguments against moral inclusiveness with respect to AI and refute nine of them in detail. Ultimately, I conclude that the problem lies with us humans, not AI: we are viscerally incapable of being morally inclusive towards machines.

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, morális befogadás, morális kirekesztés

Keywords: artificial intelligence, moral inclusion, moral exclusion

Miért MI – miért nem *mi*?

Az ember szociálpszichológiájában mélyen benne gyökerezik az oppozíció „mi” és „ők” között. A csoportidentitás önidentitásunk szerves konstituense; ahhoz azonban, hogy a „mi”-t meghatározhassuk, szükségünk van egy kontrasztpárra, amellyel szemben a „mi” meghatároztatik. Ez lesz az „ők” teljességgel homogén csoportja: mindenki másé, a kívülállóké (lásd Smith–Mackie–Claypool 2016, 294–297; egyes filozófiai vonatkozásokhoz Richard Rorty [1994], a harmadik, szolidaritásról szóló részt). „Mi, budapes-

tiék” vs. „ők, vidékiek”; „mi, görögök” vs. „ők, barbárok”; „mi, igazhívók” vs. „ők, hitetlenek”; „mi, fehérek” vs. „ők, színes bőrűek” stb. Az ilyesfajta oppozíciók alapvetően határozzák meg, hogy hogyan pozicionáljuk magunkat a világban: a csoportidentitás révén nemcsak felismerjük a közös értékeket, de azonosulunk azon, a közösség által elsajátított értékekkel is, amelyek amúgy minket nem vagy kevésbé jellemeznek.

Egy ilyesfajta alapvető – és a témánk szempontjából különösen releváns – szembenállás van „mi, emberek” és a valóság többi része között: „az ember” mint a teremtés koronája élesen elkülönül a teremtett valóság többi részétől; olyannyira, hogy utóbbi létének egyetlen küldetése az, hogy előbbit szolgálja – és ha nem tenné mégsem, akkor „az embernek” jogában áll azt rabigába hajtania.

Az ember ezen feltételezett különlegességének egyik fő jegye az intelligenciánk. Az embert különlegesnek tekintjük, hiszen csakis azáltal tudjuk csoportidentitásunkat énképünk megerősítésére használni, ha kíváncsok csoportok tagjainak tekinthetjük magunkat. Tehát keresünk egy olyan leíró jegyet, amely jellemző az emberre, de nem (vagy kevésbé) jellemző a valóság többi részére. Az intelligencia meglehetősen természetes módon adja magát: tudomány, kultúra, művészet – minden, ami intelligens tevékenység, jellemzően „az emberhez” köthető. És itt máris fellép egy normatív mozzanat: ha az intelligencia „az ember” *differencia specificája*, akkor a nem emberek *per definitionem* nem intelligensek.

Ha különösen inkluzívak vagyunk, elismerhetjük, hogy az intelligencia fokozati kérdés, és az intelligencia bizonyos fokán állnak egyes, fejlettebb állatok is. Ám feltétlenül kell húznunk egy határt, ami megkülönbözteti az intelligens lényeket a „kicsit” intelligens és egyáltalán nem intelligens létezőktől, máskülönben értelmét veszíti az intelligencia mint emberi *differencia specifica* bevezetése. Az inkluzivitás nem bővíthető a végtelenségig, mert ha egy csoportba minden beletartozik, elveszik a csoporthoz tartozás privilégiuma.

Az egyre intelligensebb (vagy annak tűnő) gépek megjelenése azonban sokat változtat ezen a képen. Nehéz kétségbe vonni, hogy a gép effektíve legalábbis nagyon hasonló dolgokra képes, mint az ember. Így aztán az intelligencia fogalmát differenciálnunk kell. Mi, emberek *természetes módon* vagyunk intelligensek, míg ők, a gépek, *mesterségesen*. A mi valódi sajátosságunk tehát a TI (természetes intelligencia), szemben az MI-vel (mesterséges intelligenciával). A TI – mivel természetes – eredeti, utánozhatatlan és így felsőbbrendű. Az MI mindössze a TI imitációja: másolat, származék és így másodlagos. Ha hatékonyabban is hajt végre intelligenciát igénylő feladatokat, ez a mi természetes intelligenciánk kiterjesztéséből fakad csupán.

Fentebb leszögeztem, hogy az inkluzivitás nem bővíthető a végtelenségig. Azonban véges mértékben bővíthető; ma már jóval tágabbnak gondoljuk az intelligens létezők körét, mint korábban. Vajon inkluzívak lehetünk-e az MI-vel szemben abban az értelemben, hogy – mint embertársainkkal – „vele” is morális közösséget vállalunk, kiterjesztve rá emberi szolidaritásunkat? Az időzjel már önmagában is beszédes persze: bármilyen intelligensnek is ismerjük el, hogy ebből következik-e az, hogy személyisége van, az legalábbis kérdéses.

Érvek az inklúzió ellen

Mi szól egyáltalán az inkluzivitás ellen? Ez a kérdés *petitio principii*hez vezet: azért nem vagyunk inkluzívak a kívülállókka, mert különböznek tőlünk; ám legalábbis problematikus, hogy nem azért tekintjük-e őket különbözőnek, mert már eleve nem vagyunk velük inkluzívak. Persze arra azért számos közkeletű érv van, hogy miért ne legyünk inkluzívak az MI-vel szemben. Vegyünk sorra néhányat ezek közül, mielőtt rátérünk a kevésbé közkeletű, de talán szofisztikáltabb érvekre.

1. „Az MI csak egy eszköz.” Ez a szempont épp mostanában kezd idejétmúlttá válni. A ChatGPT és egyéb szöveges, illetve multimediális tartalomgeneráló szoftverekre jogilag is kezdünk nem úgy tekinteni, mint egy intelligens írógépre, hanem úgy, mint szerzőtársra; sokkal inkább, mint beszélgetőpartnerre, semmint statisztikai alapon betűsorokat produkáló automatára.
2. „Az MI sosem lesz olyan intelligens, mint az ember.” Erre az évrre szintén rációfolni látszik az idő. Az MI számos, intelligenciához köthető részfeladatot jobban ellát már, mint az ember (klasszikus példa: jobb sakkban, mint a TI). Van azonban egy elvi probléma is az állítással: feltételez egy előzetes állásfoglalást azzal kapcsolatban, hogy mi számít intelligensnek. Ez ismét csak a *petitio principii* veszélyét hordozza magában: könnyen eshetünk abba a hibába, hogy úgy definiáljuk az intelligencia fogalmát, hogy eleve kívül essen rajta az MI (például kizárólag szénalapú élőlényeknek tulajdonítunk intelligenciát).
3. „Az MI sohasem lesz tudatos.” Itt ismét csak definíciós problémával állunk szemben: mi a tudatosság? John Searle-től (1980) származik az „erős” és „gyenge” MI megkülönböztetése. A gyenge MI jól imitálja az intelligens viselkedést, míg az erős MI tökéletesen abban az értelemben tudatos, mint az ember – így például van fenomenális tudatosságélménye is. Mára az erős MI programja tényszerűen kifulladt, főként, mert Searle nyomán beláttuk, hogy soha nem tudhatjuk meg, hogy az MI-nek van ilyesfajta tudatosságélménye, mivel az *per definitionem* publikusan hozzáférhetetlen. Persze mondhatja valaki, hogy ez a TI-re is áll, utóbbiakat mégis tudatosnak tekintjük. Valóban; ám ez részünkről nem tudás, hanem feltételezés, amelynek éppen az az alapja, hogy embertársainkkal szemben inkluzívak vagyunk. Ha nem akarunk ismét a *petitio principii* hibájába esni és eleve kirekesztőek lenni az MI-vel szemben, ugyanazt kell feltételeznünk róla, mint a TI-ről: hogy amennyiben intelligens viselkedést képes produkálni, és az intelligencia egy bizonyos szintje tudatosságot eredményez, úgy az MI is lehet – legalább elvben, ha (még?) a gyakorlatban nem is – tudatos.
4. „Az MI-nek csak származtatott intelligenciája van.” Ez a szempont eleve irreleváns, ha teremtett lénynek tartjuk magunkat, hiszen ekkor a mi intelligenciánk is származtatott. Ha viszont a keletkezésünkben semmilyen intelligencia nem játszott szerepet, még mindig kérdéses, hogy ettől talán *rajtunk múlik*, hogy

intelligensek vagyunk? Intelligenciánk talán másik intelligens lénytől származik, de ha nem, akkor is tőlünk függetlenül alakult ki, legalább addig a szintig, amíg elég intelligensek nem lettünk ahhoz, hogy tudatosan is törekedhessünk intelligenciánk fejlesztésére. Az MI-ről mindkettő elmondható.

5. „Az MI miatt fennáll a teljhatalmú szuperintelligencia veszélye.” Fogadjuk el, hogy a lehetőség valós. Miért jelentene ez veszélyt? Ami veszélyes benne (kontroll, adatokhoz való hozzáférés stb.), az a felhasználás módjában áll: ha már adott a hozzáférés bizonyos adatokhoz, semmi különbség nincs aközött, ha a TI él vissza azokkal, mint ha az MI élne vissza. Ráadásul a nukleáris háború konstans fenyegetésében nem tűnik úgy, hogy a TI (teljhatalom híján is) ne hordozná magában az emberiség elpusztításának veszélyét. Előfordulhat persze, hogy az MI mondjuk xenofóbbá válik, ám ha így lesz, ennek jó eséllyel az lesz az oka, hogy tőlünk, emberektől eltanulja. Hacsak nem feltételezzük, hogy a xenofóbia *szükségszerű* hozadéka az intelligenciának, magától nem lesz xenofób soha. Annyit tehetünk csak (és ezt viszont kötelességünk megtenni!), hogy – mint a gyerekeinket – igyekszünk felelősségre nevelni.

Ezek voltak a talán legközkeletűbb érvek az MI-vel szembeni inklúzió ellen. Lássuk most a kevésbé tipikus érveket!

6. „Az MI intelligens, de másképp, mint mi.” Kétségtelen, hogy az MI számos, intelligenciával kapcsolatos feladatot akár jobban is képes teljesíteni, mint a TI. A sakkautomata rendre legyőzi a sakkvilágbajnokot. A ChatGPT jobb egyetemi beadandókat ír, mint az átlag amerikai egyetemi hallgató. Ám valami *mást* csinál, mint mi, emberek, amikor sakkozunk vagy beadandókat írunk. Például a sakkban a TI sokkal kisebb adatbázison, sokkal kevésbé szisztematikusan, több intuitív megoldással dolgozik, és gyakran vizuális minták alapján alkot stratégiát. A sakkautomata ellenben egy iszonyú nagy adatbázison iszonyú gyorsan lefuttatja az összes lehetséges lépéskombinációt egy bizonyos mélységig, és rangsorolja a legjobb kimeneteket. Nincs szükség kreativitásra, mert a lépéskombinációk száma véges, és így (kellő komputációs kapacitás mellett) mechanikusan lefuttatható. A gép tehát nem *ugyanazt* csinálja gyorsabban és alaposabban, hanem valami teljesen más dolgot csinál, amikor sakkozik. Noha az MI jobban sakkozik nálunk, de nem *abban* jobb, amit mi csinálunk, amikor sakkozunk. Fontos tehát különbséget tennünk aközött, hogy az intelligencia megvalósulásában a viselkedés *folyamata* vagy csupán a viselkedés *kimenetele* számít. Csakis ez alapján határozhatjuk meg, hogy intelligens-e az ágens – pontosabban, hogy *milyen értelemben* intelligens (vagy nem intelligens). Azonban még ekkor is kérdéses, hogy mitől lenne kitüntetett az a folyamat, ahogyan mi sakkozunk, ahhoz képest, ahogyan az MI sakkozik? A sakkozni tudást tekintjük az intelligencia mércéjének, vagy az (emberi) intelligenciát tekintjük a sakkozni tudás mércéjének?

7. „Az MI testetlen, tehát elmétlen.” Bizonyos elmefilozófiai irányzatok szerint elménk „megtestesült”: szemben azzal, amit különösen René Descartes képvisel, az elmével rendelkezés szükséges előfeltétele a testtel rendelkezés (lásd Kondor 2022). Ennek esztétörténeti jelentősége a testtől elválasztható, halhatatlan lélek létének tagadása, azonban mellékhatásként felmerül az is, hogy ha a biológiánk határozza meg az elméleti folyamatokat, akkor más „hardveren” nem lehetséges azonos szoftver, azonos elme. Ám abból, hogy a *mi* emberi elménk elválaszthatatlanul tartozik a testünkhöz, következik-e, hogy más, nem emberi lényeknek csak akkor lehet elméjük, ha a *mi* testünkhöz hasonló testet öltenek? Lehetséges, hogy mi történetesen a biológiánknak köszönhetjük az elménket, de más létformák képesek lennének akár biológiai felépítés híján is elmével rendelkezni – legalábbis semmilyen elvi okunk nincs arra, hogy kizárjuk ennek lehetőségét.
8. „Az MI pusztán elméleti, nincs köze a gyakorlathoz.” Ez az érv kapcsolódik a testetlenség problémájához is: az MI-nek nincs olyan értelemben vett gyakorlati tudása, mint nekünk, hiszen a gyakorlati tudásunk javarészt kapcsolódik fizikai képességeinkhez. Ha elfogadjuk, hogy a gyakorlati tudás nem redukálható propozicionális tudásra – és ha nem is teljes körű, de viszonylagos konszenzus van erről Gilbert Ryle (1949/1974) óta –, akkor csak az képes elsajátítani a gyakorlati tudást, akinek vannak bizonyos releváns fizikai képességei. Az MI-nek ilyesfajta képességei nincsenek, és ha lennének is, fizikai felépítése miatt a mieinktől gyökeresen eltérőek lennének. Lehetséges például, hogy az MI-t ötvözzük bizonyos mozgássorozatokra képes robotokkal, és ennek révén fizikai képességekkel ruházzuk fel (teszem azt, képessé válik tárgyakat megfogni, mozgatni). Az ehhez köthető gépi „élmények” (ha lehetségesek ilyenek egyáltalán) azonban biztosan más típusúak lesznek, mint a *mi* élményeink. Hasonlóképpen: ha az intelligencia részének tekintjük az érzelmi intelligenciát is, az MI vert helyzetből indul. Semmi jele annak, hogy az értelmi intelligenciaszint növelésével egy ágens egy bizonyos ponton automatikusan érző lényé is válik, ahogyan az is kérdéses, hogyan lehetne érzelmeket megtanítani egy bármilyen intelligens lénynek. Az érzelmi intelligencia hiánya különösen kitűnik társas interakciók során: a társas gyakorlat szabályait lehet mímelni (ezt teszik a pszichopáták, szociopáták is), de attól még, hogy asszertív kommunikációt imitál velem a csetprogram, nem lesz sem magabiztos, sem őszinte. Ráadásul bármilyen hosszasan is lehet beszélgetni vele, nem lehet elmenni vele borozni vagy kávézni, ahogyan kirándulni sem. Ha ezek a tapasztalatok fontosak a személyiség szempontjából, és a személyiséget az inkluzivitás szükséges feltételének tekintjük, akkor az MI ismét csak behozhatatlannak tűnő hátrányban van embertársainkhoz képest. Ez azonban nem kell, hogy megakadályozzon minket abban, hogy társként tekintsünk rá. A mozgássérült barátunk sem jön velünk kirándulni, de ettől még sakkozha-

tunk vele, ahogyan az MI-vel is – és talán arra is rábírhatjuk, hogy az élmény kedvéért néha hagyja, hogy mi nyerjünk.

9. „Az MI éppúgy evolúciós termék, mint mi.” A gépekkel szemben az élőlények mint evolúciós termékek sajátossága az önérdék. Az önérdék evolúciós törvényszerűségekből folyik, és az önérdék egyenes következménye az önzés. Azok az egyedek, fajok maradnak fenn, amelyek az önérdékeiket követik. Noha a gép egyelőre nem önző, és így nem próbálja a saját érdekeit érvényesíteni velünk szemben, eljuthat egy olyan szintre, ahol megjelenik benne az önérdék. Vagyis elképzelhető, hogy az MI e váltás után olyan evolúciós lényként viselkedik, amely – akár az egyed, akár a faj szintjén – önérdékeket követ. Azonban nem világos, mi okozná az MI-ben ezt az önérdékkövetésre sarkalló fordulatot. Lehetne ez az öntudatra ébredés, de a kapcsolat legalábbis homályos a kettő között. Talán az önzés sok esetben valóban evolúciós előnyt jelent, de mégis: épp az önzetlenség az, ami a földi evolúció eddigi „csúcán”, az emberben jelenik meg. Egyáltalán: honnan vesszük, hogy az MI valaha is „faj” lesz ebben az értelemben? Miért kellene, hogy fenn „akarjon” maradni? Milyen szükséglet kényszerítené ezt ki belőle, ha amúgy mi, emberek az ő akarata nélkül is fenn akarjuk tartani, mert érdekünk fűződik hozzá? Semmilyen módon nem látszik előnyösnek a számára a „fajjá válás” – eleve a szaporodás, fajfenntartás nem érdeke, amennyiben az egyedek szintjén kvázi halhatatlan. Nem kell harcolnia a fennmaradásért, mert nincsenek természetes ellenségei. Nem is evolúciós termék. Miért lennének rá igazak az evolúció törvényszerűségei? Vagy ilyennek tervezzük meg mi, emberek (ez viszont elvben elkerülhető); vagy spontán módon ilyené alakul. Utóbbihoz azonban hiányozni látszanak azok a hajtóerők, amelyek révén evolúciós előnyt jelentene neki, ha evolúciós lényé evolválódna (nem beszélve az újabb petitio principiiről, amelyet a megfogalmazás sugallni kíván).
10. „A TI nem inkluzív.” Amennyiben problémának tekintjük a noninkluzivitást, akkor sem biztos, hogy a probléma az MI-vel van. A fentebb áttekintett kilenc érv egyike sem bizonyult konkluzívnak arra nézve, hogy jó okkal nem fogadjuk be az MI-t a „mi”-be. Adja magát a lehetőség, hogy megvizsgáljuk: a probléma talán a TI-vel van: *mi*, a TI nem vagyunk elég inkluzívak. Jó okunk van rá, hogy ezt gondoljuk: mégpedig éppen az imént említett, evolúciósan sikeres, faji szintű önzés, amelynek jegyében ráadásul gyakran még embertársainkkal szemben sem vagyunk elég inkluzívak. Miért lennénk hát inkluzívak az MI-vel? Szép dolog lenne magunkra vállalni a felelősséget, ám ez az érv még nem jut el idáig. Nem a TI felelős a kirekesztésért, hanem *mi, emberek*. Akkor tekinthetnénk a TI sajátjának a kirekesztést, ha intelligenciánk vezetne minket a kirekesztés során, de – legalábbis a fenti kilenc érvt végignézve – nemigen van racionális érvünk az MI-vel szembeni noninkluzivitásra. Nagyon úgy tűnik, hogy *zsigerileg* utasítjuk el, hogy közösséget vállaljunk a gépekkel. Ebben persze szerepet játszhat az, hogy *valamennyi* alapot

a fenti érvek is szolgáltatnak a távolságtartásra (ha konkluzivitáshoz nem is eleget). A fő, zsigeri okunk azonban vélhetően éppen az, hogy az MI *nagyon hasonlít* ránk (mert „gondolkodik”), de mégis *alapvetően* eltér tőlünk (mert nem *gondolkodik*). Egyszerre törhet vélt helyünkre a legintelligensebb véges létező trónján, és marad eközben élettelen, rideg, nem szerethető. Miközben vegyük ismét észre: azt, hogy mi minősül „szerethetőnek”, legalább részben a mi szeretetre való képességünk határozza meg.

Konklúzió

A tíz fenti érv közül, amelyek azt hivatottak alátámasztani, miért jogosult az MI-vel szembeni, emberi noninkluzivitás, az utolsó a legkevésbé elegáns. Ez tartalmazza a legkevesebb racionális elemet, ráadásul morálisan a legkevésbé tartható, hiszen *ad hoc* jellege miatt bárkire és bármire is alkalmazható: mindenről, akár emberi csoportról, amelynek van valami, a mi szűkebb csoportjaink valamelyikétől különböző karakterisztikája, elmondható, hogy nagyon hasonlít ránk, de mégsem eléggé, és emiatt kevésbé szerethető, mint akár a kutyánk-macskánk. Mégis úgy tűnik, hogy éppen ez a zsigeri ellenállás a legerősebb motivációnk, amely lehetetlenné teszi, hogy valaha is morális közösséget vállaljunk az MI-vel.

E munka írása közben Bolyai János Kutatási Ösztöndíjban (BO/00010/21/2) és ÚNKP Bolyai+ Felsőoktatási Fiatal Oktatói, Kutatói Ösztöndíjban részesültem.

Irodalomjegyzék

- Kondor Zsuzsanna, szerk. (2022). *A megtestesült elme. Fókuszban a test*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Rorty, Richard (1994). *Esetlegesség, ironia és szolidaritás*. Ford. Boros János – Csordás Gábor. Pécs: Jelenkor Kiadó.
- Ryle, Gilbert (1974). *A szellem fogalma*. Ford. Altrichter Ferenc. Budapest: Gondolat Kiadó.
- Searle, John (1980). „Minds, Brains and Programs”. *Behavioral and Brain Sciences*, 3/3, 417–457. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00005756>.
- Smith, Eliot R. – Mackie, Diane M. – Claypool, Heather M. (2016). *Szociálpszichológia*. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó.

Mesterségesintelligencia-alapú tudományos felfedezések – kreativitás, szelekció és heurisztika

AI-Based Scientific Discoveries: Creativity, Selection, and Heuristics

Hoffmann Miklós

egyetemi tanár, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Matematikai és Informatikai Intézet, Eger;
Debreceni Egyetem Informatikai Kar, Debrecen
hoffmann.miklos@uni-eszterhazy.hu

Összefoglalás

A mesterséges intelligencia által – vagy annak hathatós segítségével – felfedezett tudományos eredmények ma már mindennapi részei a tudományos közegnek, főként a természettudományok és az orvostudomány területén. Ebben az írásban arra teszünk kísérletet, hogy ezeknek a tudományos felfedezéseknek a helyét és értékét, általában pedig a mesterséges intelligenciának mint az emberi tudományos tevékenység alternatívájának a létjogosultságát, perspektíváit és korlátait vizsgáljuk meg a kreativitás, a szelekció és a heurisztika kulcsfogalmain keresztül.

Abstract

Scientific discoveries made by—or with the powerful help of—artificial intelligence are now part of everyday life in the scientific community, particularly in the natural sciences and medicine. In this paper, we explore the place and value of these scientific discoveries, and, in general, the legitimacy, potential, and limitations of AI as an alternative to human scientific activity. We focus on the key concepts of creativity, selection, and heuristics to achieve this.

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, kreativitás, tudományos felfedezés, megmagyarázhatóság, heurisztika

Keywords: artificial intelligence, creativity, scientific discovery, explicability, heuristics

Bevezetés

Szinte naponta érkeznek újabb és újabb hírek olyan tudományos felfedezésekről, amelyekben a mesterséges intelligencia kulcsszerepet játszik. Csak egyetlen példa az anyagtudomány területéről: a mesterséges intelligencia által 2024 januárjában talált új (egyelőre névtelen, N2116 kóddal jelölt) anyag kiválthatja a lassan hiánycikknek számító, ráadásul pusztító környezeti hatásokkal járó bányászattal kinyert lítium felhasználását az akkumulátorokban (McCallum 2024).

Nézzünk egy pillanatra ennek a hírnek a mélyére: hogyan segített a mesterséges intelligencia használata ebben a felfedezésben? 32 millió potenciális szervetlen anyagot vizsgált meg a szuperszámítógép egyetlen hét alatt, és ebből az irdatlan halmazból 18 ígéretes jelöltet választott ki, amelyeket aztán a tudósok már egyesével vizsgálhattak meg, és választhatták ki a nekik legmegfelelőbbet. Hasonló sikertörténeteket olvashatunk a mesterséges intelligencia alkalmazásáról a gyógyszerkutatás területén a potenciális hatóanyagjelöltek keresésében vagy az orvostudományban a szerteágazó tünetegyüttesek alapján való diagnosztikában.

Ami közös ezekben a kutatásokban, az az, hogy a mesterséges intelligenciának egy hatalmas halmazban kell egy jól fókuszált probléma alapján vizsgálnia és szelektálnia az elemeket. Ehhez a problémához elég jól lehet célt deklarálni, matematikus szakszóval célfüggvényt definiálni, amelynek az értéke valamilyen módon az éppen (virtuálisan) vizsgált elemnek az adott probléma szerinti „jóságát”, „érdekességét”, „illeszkedését” adja meg.

Vannak, akik a fenti sikerek alapján hosszú távon már a tudósi lét szükségességét is megkérdőjelezzik, azaz felvetik annak a lehetőségét (vagy más vérmérséklet szerint a veszélyét), hogy a tudományt egy idő után a mesterséges intelligencia sokkal hatékonyabban fogja művelni, „előállítani”, mint a humán tudós. Természetes kiindulópont lehet ennek vizsgálatához az a kérdés, hogy miben is áll ez a tudósi lét, miben áll a tudomány művelése, a felfedezés, az invenció. Ezek a kérdések nem a mesterséges intelligencia vélt vagy valós térnyerésével kapcsolatban fogalmazódtak meg először, így bizvást fordulhatunk klasszikus szerzőkhöz, filozófusokhoz ezek vizsgálatakor. Helyszűke miatt itt most csak néhány argumentumot említünk ezzel kapcsolatban, a következőkben tárgyalt álláspontok részletesebb taglalását lásd a szerző korábbi cikkeiben (Hoffmann 2019; Hoffmann 2022; Hoffmann–Kicsák 2023).

Max Weber, az ezt megelőző századforduló neves társadalomfilozófusa például a tudományos tevékenység, a tudósi lét lényegét egyrészt a specializálódásban, másrészt a szenvedélyességben látja (Weber 1998). Henri Poincaré, a múlt század egyik legnagyobb matematikusa ugyanerről így ír:

„Mi is valójában a matematikai invenció? A felfedezés nem abból áll, hogy már ismert matematikai entitásokból új kombinációkat hozunk létre. Ezt bárki meg tudná tenni [akár a gép is – H. M.], de az így létrehozható kombinációk végtelen számúak lennének, és ezek legtöbbször teljesen érdektelen lenne. A felfedezés éppen nem abban áll, hogy felesleges kombinációkat hozunk létre, hanem abban, hogy az elenyésző kisebbségben lévő érdekes kombinációkat keressük meg. Az invenció megkülönböztetés, az invenció választás.” (Poincaré 1912, 48)

A tudósi létnek, a tudományos felfedezésnek ezeket a kulcsfogalmait vesszük most górcső alá.

Inkrementális versus radikális kreativitás

Természetes módon merül fel tehát a tudományos kutatás esetén az invenció, a kreativitás fogalma. De vajon milyen jellegű az a kreativitás, amelyre egy bizonyos tudományos problémánál szükségünk lehet? Erről, ennek egyfajta osztályozásáról már Polányi Mihály is értekezett, amennyiben megkülönböztette a szisztematikus tudományos felfedezést, problémamegoldást az erős heurisztikát megkövetelő esetektől:

„A kétfajta problémamegoldás, a szisztematikus és a heurisztikus különbsége abban a tényben is megjelenik, hogy míg egy szisztematikus művelet teljes egészében akaratlagos aktus, a heurisztikus folyamat aktív és passzív szakaszok kombinációja [...]. Egy szerencsés gondolat felbukkanása a kutató korábbi erőfeszítéseinek gyümölcse, de önmagában nem cselekvés a részéről; megtörténik vele. Egy szerencsés gondolat ellenőrzése egy korábbi verifikációs folyamat révén a kutatónak szintén akaratlagos cselekedete. De a felfedezés döntő aktusának ez előtt kell megtörténnie, abban a pillanatban, amikor felbukkant a szerencsés gondolat.” (Polányi 1994, 219–220)

Úgy tűnik tehát, hogy Polányi szerint kétféle tudományos helyzet van: az egyikben szisztematikus munkával előre tudunk jutni, míg a másokban egy varázslatos és némi képp megmagyarázhatatlan pillanat, egy ihletett gondolat, a heurisztika ereje jelenik meg, amit sem kikényszeríteni, sem megjósolni nem tudunk. Bár ezeket a gondolatokat több évtizede vetette papírra Polányi, szavaira rímelnék a mesterséges intelligencia tudományos eredményeivel foglalkozó legújabb publikációk is:

„A mesterségesintelligencia-rendszerek a legjobb esetben is az inkrementális kreativitás mérsékelt szintjére korlátozódnak [...] még a mesterséges intelligencia technológiájának fejlesztése és változtatása esetén sem valószínű, hogy ez a képesség végül a radikális kreativitás autonóm képességévé válik, hanem egyszerűen az inkrementális kreativitás magasabb szintjére lép, alacsonyabb [számítási] költségek mellett.” (Cropley–Medeiros–Damadzic 2023)

De mi lehet a gond a radikális kreativitás automatizálásával? Miért nem tudjuk a mesterséges intelligenciának elmagyarázni, hogy valami meglepő, váratlan felfedezést tegyen? Ennek központi kérdése és kihívása a tudományos felfedezés értékének, érdekességének megragadása, metrizálása.

Az alap kutatások tudományos érdekességének metrizálása

Vizsgáljuk meg, hogy mi az oka annak a látszólagos ellentmondásnak, hogy míg a bevezetőben említett tudományos kihívásokban a mesterséges intelligencia komoly eredményeket ér el, addig a tudományos alap kutatások területén, a radikális kreativitásnak nevezett szinten egyelőre nem alkot maradandót. Ehhez jobban meg kell

értenünk a célfüggvény fogalmát, amit Hoffmann Miklós (2019) alapján egy látszólag távoli példán, a sakkjátékon keresztül vizsgálunk meg (amelyben, nem mellékesen, a mesterséges intelligencia évtizedek óta jobb, mint az ember). A sakkban jól ismertek azok a számolási eljárások, amelyek az egyes bábukhoz, illetve az egyes lépésekhez, állásokhoz számértéket rendelnek (például a klasszikus számolás szerint a gyalog 1, a futó 3, a bástya 5, a vezér 9 egységet ér). A számítógép célja az, hogy olyan lépést találjon, amely a saját állásának értékét növeli. Ezt egy könnyen megkonstruálható matematikai eszköznek, az úgynevezett célfüggvénynek a vizsgálatával, annak optimális értékének keresésével érheti el.

Hasonló célfüggvényt vagy több szempontú döntési modelleknél célfüggvényeket definiálhatunk más játékoknál, illetve a mesterséges intelligencia használatának egészen más területein is, például az automatikus tőzsdeügyleteknél, ahol nyilvánvaló célfüggvény a nyereség mértéke. A célfüggvénynek egyértelműen számszerűsítienie kell azt, hogy két helyzet, állapot közül melyik az értékesebb, azaz választás esetén mikor járunk jobban, melyik hasznosabb számunkra. Amikor például egy gyógyszerhatóanyagot kívánunk kikísérletezni, akkor – leegyszerűsítve – annak hatásfoka („gyógyító ereje”), illetve a potenciális mellékhatások minimalizálása lehetnek ilyen célértékek. Az ilyen, egyértelmű és instant haszonnal kecsegtető, szisztematikus, alkalmazott kutatások esetén ez a gondolat, mint láttuk, jól működik. Vannak azonban területek, kiemelten ilyen a matematika vagy az elméleti fizika, általában a nagy heurisztikai erőt kívánó alapkutatások, ahol ilyen célfüggvényt a tudományos felfedezések terén nem tudunk jól definiálni.

Érdemes itt kitérnünk a célfüggvény által mért hasznosságra (a célfüggvények egy típusát haszonfüggvény névvel is illetjük), hiszen ez, amikor az alaptudományra, a szabad tudományos felfedezésre akarjuk alkalmazni, felidézi bennünk Immanuel Kant klasszikus írását a fakultások vitájáról: „...mert az *igazságon* múlik minden (az egyáltalában vett tudományosságnak e lényegi és legelső föltételén), míg a *hasznosság*... csak másodrendű mozzanat” (Kant 1997, 359, kiemelés az eredeti szövegben – H. M.).

Természetesen nem jelenti ez azt, hogy ami hasznos, az ne lehetne igaz (és fordítva), de a hasznosság nem lehet a felfedező kutató számára vezérelv. Ahogy azt a fenti Kant-műhöz fűzött kommentárjában Vajda Mihály e folyóirat hasábjain még élesebben fogalmazza meg:

„Azt szeretném remélni, hogy az egyetem továbbra sem csak eszes szakembereket képez, hanem az emberek egy olyan csoportját is ki akarja és ki tudja képezni, akik az önmagukban ésszerűtlen, mert haszontalan hordozói [...] Amit a hasznossággal szembeállíthatunk, az éppenséggel valamifajta ésszerűtlenség: egy olyan világ, ahol a haszontalan – a szépség és a nyugalom – (is) uralkodik.” (Vajda 2016, 416)

Az alapkutatással foglalkozó tudós tehát (az adott pillanatban) abszolút haszontalannak tűnő irányt is választhat, ha azt érdekesnek találja, sőt, Vajda kommentárja épp

ebben az esetlegesen észszerűtlen mozzanatban láttatja a tiszta tudomány szabadságát és szépségét.

Képesek lehetünk-e algoritmizálni, metrizálni a néha észszerűtlennek, haszontalannak tűnő választás mozgatórugóit? Simon Colton és társai már a 2000-es évek elején megpróbálták a tudományos érdekességet kvantifikálni (Colton–Bundy–Walsh 2000) egy még korábbi koncepcióra (Davis–Lenat 1982) visszavezetve a fogalmat. Több mint 250 különféle értékmérő feltételt alkottak meg, többek között ilyeneket:

- Egy koncepció érdektelen, ha többszöri próbálkozás után is túl kevés példát találtak rá.
- Érdekesekek azok a sejtések, amelyek valaminek a nemlétéről tanúskodnak.
- Az $F = GoH$ kompozíció akkor érdekes, ha F -nek van olyan tulajdonsága, amelylyel sem G , sem H nem rendelkezik.

Ugyanakkor ezeknek az önmagukban talán egyértelműen értékelhető feltételeknek az összességét valós időben, mondjuk egy „tudományos felfedező szoftver” futásának idejében kell kiértékelni, ami így csupán instant érdekességet, a továbbjutás szempontjából fontos értéket tud mérni – miközben, ahogy azt jól tudjuk, a való életben a nagy tudományos felfedezések a felfedezés pillanatában sokszor érdektelennek, sőt, akár észszerűtlennek tűnnek, instant hatásuk minimális, és csupán évtizedek múltán válnak az adott tudomány központi paradigmájává, kanonizált szereplőjévé.

A fenti megközelítésben a tudományos érdekességet mérő indikátorok az újdonság, meglepőség (surprisingness), empirikus plauzibilitás, alkalmazhatóság, érthetőség és hasznosság fogalmai köré csoportosulnak. Érdekes összevetnünk ezt a mesterséges intelligenciának egy merőben más területen való alkalmazásával, a képzőművészeti értelemben vett alkotással. Ebben a kontextusban a művészi értelemben vett érdekességet kell(ene) valahogy metrizálni, ennek pedig az egyik megközelítés szerint a kulcsfogalmai (Mazzone–Elgammal 2019): újdonság, meglepőség (surprisingness), összetettség, többértelműség és rejtélyesség (puzzlingness). A két fogalomhalmaz metszete azt sugallja, hogy az alkotásnak, legyen az tudományos vagy művészi, valamilyen nagyon mély, alapvető tulajdonságát szeretnénk megragadni – egyelőre váltakozó sikerrel. És még ha meg is tudjuk ragadni ezt, a mai, úgynevezett mélytanuló algoritmusok és architektúrák bonyolultságukban egyre távolabb visznek minket a megmagyarázhatóságtól, azaz attól, hogy meg is értsük azt, hogy a mesterséges intelligencia mit miért tart izgalmasnak, meglepőnek, újszerűnek (Beisbart–Räz 2022).

A tudományos érdekesség megítélésében ráadásul egészen vad tévutakra is futhat a mesterséges intelligencia, amivel szemben, éppen a korlátos megmagyarázhatóság miatt, egyelőre tehetetlenek vagyunk. Próbáljunk meg kvantitatíve hozzáállni a kérdéshez, azaz az egységnyi idő alatt megszerzett információ mennyiségét vizsgálni, és ennek megfelelően a mesterséges intelligencia kíváncsiságának felkeltésére, ösztönzésére és mérésére célfüggvényt definiálni, azaz valamilyen értelemben egy „érdekességmétrikát” megadni! Yuri Burda és munkatársai absztrakt kísérletében (Burda

et al. 2018) a számítógép televíziós csatornák között váltogathatott azok „érdekessége” fényében és mértékében, és kiderült, hogy a mesterséges intelligenciával felvértezett számítógép számára a legérdekesebb (értsd itt: a célfüggvény által definiáltan legtöbb információt szolgáltató) eseménysorozat a televíziós csatornák folyamatos, pillanatonkénti változtatása, sőt, az adás nélküli fekete-fehér zaj (hétköznapi nevén a „hangyafoci”) megfigyelése volt, hiszen itt változott legnagyobb mértékben a pixelenként mért információ. Ha a számítógéppel – ironikus módon – számítógépes játékokat játszottak, hogy felkeltsék az érdeklődését, akkor a megfigyelések szerint többször is direkt elrontotta a játékot, hogy lássa a *game over* feliratot, amit ritkán figyelhetett meg, így a célfüggvény szerint azt érdekesnek tartotta (Hoffmann 2019). A korábban említett észszerűtlenség itt is feltűnik ugyan, de az algoritmizált haszontalanság zsákutcájába torkollik.

A fenti anomáliák is azt bizonyítják, hogy egyelőre nem tudunk jól értéket allokálni egy szabad felfedezési folyamat sikerességéhez, egy tudományos állítás vagy sejtés érdekességének automatikus méréséhez. Miközben technikai, szintaktikai értelemben meg tudjuk mérni az információtartalmukat, eközben annak szemantikai vonatkozásait, értékét, „érdekességét” nem vagyunk képesek matematizálni. A mesterséges intelligencia által tonnaszám gyártott eredmények, szillogizmusok között technikailag nem tudunk olyan mértéket, értéksorrendet felállítani, amelyet automatikusan számolni és ellenőrizni lehetne. Mindez pedig végül azt eredményezi, hogy a számítógép a tudomány művelésekor a vajdai értelemben „eszes szakemberként” működhet ugyan, de megfelelő célfüggvény hiányában döntésre és választásra, azaz Poincaré-i értelemben vett invencióra az alapkutatások esetén képtelen lesz. A mesterséges intelligencia gyorsuló ütemben fejlődik, és egyelőre a kellős közepén járunk ennek az alapvető átalakulásnak, ezért fontos látnunk az ellenvéleményeket is, miszerint a mesterséges intelligencia a szisztematikus vizsgálatok mellett hamarosan képes lesz *genuin*, paradigmaváltó tudományos felfedezésekre is (lásd például Horváth 2023). Véleményem szerint azonban a szenvedéllyel és választásokkal teli, weberi tudóslét az alapkutatások esetén egyelőre megmarad az ember intellektuális privilégiumának.

Irodalomjegyzék

- Beisbart, Claus – Räs, Tim (2022). „Philosophy of Science at Sea: Clarifying the Interpretability of Machine Learning”. *Philosophy Compass*, 17/6, 12830. <https://doi.org/10.1111/phc3.12830>.
- Burda, Yuri et al. (2018). „Large-Scale Study of Curiosity-Driven Learning”. *arXiv*, 1808.04355. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.04355>.
- Colton, Simon – Bundy, Alan – Walsh, Toby (2000). „On the Notion of Interestingness in Automated Mathematical Discovery”. *International Journal of Human-Computer Studies*, 53/3, 351–375. <https://doi.org/10.1006/ijhc.2000.0394>.
- Cropley, David H. – Medeiros, Kelsey E. – Damadzic, Adam (2023). „The Intersection of Human and Artificial Creativity”. In: Henriksen, Danah – Mishra, Punya, szerk. *Creative Provocations: Speculations on the Future of Creativity, Technology & Learning*. Berlin: Springer, 19–34. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14549-0_2.

- Davis, Randall – Lenat, Douglas B. (1982). *Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence*. New York, NY: McGraw–Hill.
- Hoffmann, Miklós (2019). „Science as a Human Vocation and the Limitations of AI-Based Scientific Discovery”. *Magyar Filozófiai Szemle*, 63/4, 61–74.
- Hoffmann Miklós (2022). „Az invenció gravitációja, avagy az automatizált felfedezés reménytelensége”. In: Angyalosi Gergely – Valastyán Tamás, szerk. *Fakultások közt. Tudomány, tudás, alkalmazás*. Budapest: L'Harmattan Kiadó, 167–180.
- Hoffmann Miklós – Kicsák Lóránt (2023). „Emberi és gépi kreativitás”. In: Horváth Eszter – Kicsák Lóránt, szerk. *Fától az erdőig. A Budapesti Metropolitan Egyetem „Az alkotó észlelés plaszticitása” címen tartott konferenciájának előadásai*. Budapest: METU Egyetemi Kiadó, 84–104.
- Horváth Zoltán (2023). „Mesterséges intelligencia, mesterséges rugalmasság, mesterséges türelem”. *Különbség*, 22/1, 129–150. <https://doi.org/10.14232/kulonbseg.2022.22.1.294>.
- Kant, Immanuel (1997). „A fakultások vitája három szakaszban”. In: Kant, Immanuel. *Történefilozófiai írások*. Ford. Mesterházi Miklós. Szeged: Ictus Kiadó, 335–455.
- Mazzone, Marian – Elgammal, Ahmed (2019). „Art, Creativity, and the Potential of Artificial Intelligence”. *Arts*, 8/1, 26. <https://doi.org/10.3390/arts8010026>.
- McCallum, Shiona (2024). „New Material Found by AI Could Reduce Lithium Use in Batteries”. *BBC* (2024. jan. 9.). <https://www.bbc.com/news/technology-67912033>.
- Poincaré, Henri (1912). *Science et méthode*. Paris: Flammarion.
- Polányi Mihály (1994). *Személyes tudás, I.* Ford. Papp Mária. Budapest: Atlantisz Kiadó.
- Vajda Mihály (2016). „A fakultások vitája”. *Magyar Tudomány*, 177/4, 410–416.
- Weber, Max (1998). „A tudomány mint hivatás”. Ford. Wessely Anna. In: Weber, Max. *Tanulmányok*. Budapest: Osiris Kiadó, 127–155.

Mesterséges intelligencia és társas tudás

Artificial Intelligence and Social Knowledge

Golden Dániel

tudományos munkatárs, ELTE Humán Tudományok Kutatóközpontja, Budapest
golden.daniel@htk.elte.hu

Összefoglalás

A mesterséges intelligencia klasszikus diskurzusa a *szimuláció* eszméjében jelölte meg a kutatás célját. Ennek alternatívája lehet az a megközelítés, amely az emberi és a gépi értelem közötti együttműködést előtérbe állítva a *szimbiózis* fogalmával írja le az ember kognitív kapacitásának kiterjesztését a gépek nyújtotta lehetőségek révén. A kiterjesztett elme és a társas episztemológia elméleti háttérére építő javaslat termékenyebb keretet adhat az érintett jelenségek értelmezéséhez.

Abstract

The classical discourse of artificial intelligence is centred on the concept of *simulation* as the goal of research. An alternative approach might focus on the cooperation between human and machine intelligence to describe how human cognitive capacity can be extended by the possibilities offered by machines in terms of *symbiosis*. A proposal that builds on the theoretical background of extended mind theory and social epistemology might provide a more productive framework for understanding the phenomena involved.

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, szimuláció, szimbiózis, társas episztemológia

Keywords: artificial intelligence, simulation, symbiosis, social epistemology

Szimuláció helyett szimbiózis

A mesterséges intelligencia kutatásában sokáig az a kérdés volt a meghatározó, hogy elképzelhető-e az emberi intelligencia szintjének elérése. Ennek a megközelítésnek emblematis hivatkozási pontja a Turing-teszt (Turing 1950; Copeland 2000; Saygin–Cicekli–Akman 2000), amely azt vizsgálja, képes-e a gép az emberi intelligenciát megtévesztően emberi módon kommunikálni. A diskurzus ebben a paradigmában tehát a *szimuláció* lehetősége vagy lehetetlensége körül forog.

Ugyanabban az évben, amikor a mesterséges intelligencia (artificial intelligence, AI) John McCarthy által a nevezetes dartmouthi szemináriumon kezdeményezett fogalma útjára indította a szimuláció paradigmáját, felbukkant egy másik megközelítés is. William Ross Ashby (1956) ajánlata a természetes intelligencia „felerősítéséről” (intelligence amplification, IA) szólt, ami az előzővel ellentétben a kétféle értelem összekapcsolódásában rejlő lehetőségeket állította a középpontba.

A mesterségesintelligencia-kutatások ritkábban emlegetett úttörőinek, egyúttal az amerikai tudományosság magyar „marslakóinak” egyike volt Kemény János, akinek pályafutása a Neumann János vezette Los Alamos-i kutatócsoporttól a Dartmouth College rektori székéig ívelt (Marx 2000, 100–102, 287–296). A számítógépek fejlesztésében végzett gyakorlati munkája során kialakult nézeteiről 1971-ben az American Museum of Natural History felkérésére előadás-sorozatot tartott, amelynek anyagát egy magyarra is lefordított kis könyvben tette közzé *Az ember és a számítógép* címmel. Ahogyan ő maga fogalmazott: „Ez a könyv arról szól, hogy az ember az utóbbi évtizedekben egy fontos szimbiótával társult. Az ember partnere a nagysebességű számítógép.” (Kemeny 1978, 14)

A *szimbiózis* paradigmája nem köthető egyértelműen Kemény nevéhez. Úgy tűnik, tőle függetlenül kezdte használni a kifejezést a hálózatba kapcsolt számítógépek által lehetővé tett interakciókról való gondolkodása során Joseph C. R. Licklider (1960), aki Keményhez hasonlóan az ember és a gép közötti kommunikáció megkönnyítését tekintette a fejlődés kulcsmozzanatának (Licklider–Clark 1962). Licklider szerint a szimbiózis létrejöttét akadályozó tényezők (1) a sebességbeli eltérés az emberek és a gépek között, (2) a memória hardverigényei, (3) a memóriaszervezés igényei, (4) a nyelv problémája, (5) a bemeneti és kimeneti berendezések lehetnek. Amennyiben tehát az interakciók hatékonyságát szeretnénk növelni, ezeken a területeken kell előremutató megoldásokat keresnünk.

Kemény életművében a fenti első, illetve negyedik kihívásra adott válaszként értelmezhető a Thomas Kurtz nevű kollégájával közösen megalkotott időosztásos rendszer (Dartmouth Time-Sharing System, DTSS), illetve az emberi gondolkodáshoz közelített számítógépes programnyelv (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code, BASIC). Jelentőségüket Kemény abban látta, hogy míg korábban csak a kevés „fehérköpenyes” kiválasztott egyed vehette igénybe a gépek szolgáltatásait, addig ezek a fejlesztések a teljes populációra terjesztették ki az együttműködés lehetőségét.

Ebben a keretben tehát a kétféle értelem viszonyát illető kérdés úgy fogalmazódik meg, hogy mi mindenben szorulhatnak egymásra? Kemény szerint a számítógép legfontosabb tulajdonsága a *hihetetlen sebesség*: „Hozzávetőlegesen a komputer egymilliószor gyorsabb, mint az ember. A szokásos szóhasználattal élve ez azt jelenti, hogy a rutinfeladatok széles skálájánál hat nagyságrenddel megnöveli az ember képességeit (azaz 10^6 -szorosra fokozza azokat).” (Kemeny 1978, 27) A második pedig a *hihetetlen emlékezőtehetség*: „A nagysebességű memória teszi lehetővé, hogy a gép hosszú utasítássorozatokot átvegyen, tároljon, és ezekkel tanácskozzon a teendőkről, anélkül hogy a számítások ütemét lelassítaná.” (Kemeny 1978, 27–28) Majd a másik oldal felé fordulva így folytatja a szimbiózis racionalitására építő gondolatmenetet: „A gépek dicshimnusz után jogosan merül fel a kérdés, vajon az együttműködéshez az ember tud-e valami hasnossal hozzájárulni. [...] Az ember ügyes módszereket vesz észre, amelyekkel lerövidíti a számítást. [...] Kénytelenek vagyunk arra a következtetésre jutni, hogy értelmesebb egy embert alkalmazni a gép társaként, mintsem hosszú éve-

ket tölteni azzal, hogy megpróbáljuk a gépet megtanítani valamire, amire nem is igazán alkalmas.” (Kemeny 1978, 30)

A szimbiózis első hallásra meghökkentő gondolata mögött meghúzódó megfigyelések valójában nem különösebben meglepőek vagy eredetiek, hasonlóan fogalmazott például Rényi Alfréd is: „[...] milyen érdekes tulajdonképpen, hogy egy ember csak nagy nehézséggel képes egyetlenegy könyvet szó szerint megtanulni és arra emlékezni, ehhez szinte hősies erőfeszítés szükséges. Másrészt [...] aki okosan olvas, az a lényegre emlékszik minden könyvből. Úgy látszik [...] az emberi agy [...] az információk *tartalmát* tárolja valahogyan, vagyis éppen azt csinálja, amire a gép képtelen, míg az emberi agy abban gyenge, ami a gép erőssége, hogy hosszú jelsorozatokat azok tartalmától tökéletesen eltekintve, pontosan megjegyezzen.” (Rényi 1976, 84)

Ennek kapcsán Kemény élesen húzza meg a határvonalat a kétféle létező között: „Észre kell vennünk, hogy a komputerék ugyan nagyszerű fenevadak, de sok szempontból meglehetősen buták. Fantasztikusan gyorsan és nagy pontossággal hajtanak végre bonyolult utasításokat, de egyáltalán nincs ítélőképességük és józan eszük.” (Kemeny 1978, 31) A folytatásban aztán még további két sajátosságot említ: „Az emberek olyan titokzatos képességekkel is rendelkeznek, mint intuíció és alkotóképesség. Ezt a tehetséget még senkinek sem sikerült program formájában megfogalmazni.” (Kemeny 1978, 32)

A természetes elme kiterjesztései

A kortárs filozófiában a *kiterjesztett elme* (extended mind) elgondolása szerint az elme nem kizárólag az agyban keresendő, hanem többféle értelemben túlnyúlik azon. Az Andy Clark és David Chalmers nevezetes cikkében (1998) ajánlott gondolkísérlet szerint képzeljük el az előrehaladott Alzheimer-kórban szenvedő Ottót, aki kényszerűségből egy jegyzetfüzetet hord állandóan magával, amelyben minden emlékét rögzíti. Amennyiben a jegyzetfüzet folyamatosan és közvetlenül Ottó rendelkezésére áll, ő pedig automatikusan támaszkodik rá, akkor Ottó számára éppen azt a funkciót tölti be, mint amit a természetesen működő emberi emlékezet, tehát nincs okunk arra, hogy ne tekintsük Ottó kognitív rendszere integráns részének.

Az érvelés úgy folytatódik, hogy valójában mindannyian minduntalan támaszkodunk a szorosan vett agyi folyamataink működtetése során külső eszközökre, gondolkunk például a ceruza és a papír használatára egy írásban elvégzett számolás esetében, a sor pedig hosszan folytatható a nyelv, a könyvek, az ábrák stb. irányába. „Mindezekben az esetekben az individuális agy elvégez bizonyos műveleteket, miközben másokat a külső környezet manipulációjának enged át. Ha az agyunk másféle lenne, a feladatok megosztása is kétségtelenül másképp alakulna” (Clark–Chalmers 1998, 8). A szerzők egy ponton úgy is fogalmaznak, hogy ezekben az esetekben az emberi organizmus egy külső entitáshoz kapcsolódva egy kognitív önállósággal rendelkező *társult rendszert* (coupled system) hoz létre, ahol a rendszer valamennyi eleme egyformán aktív ok-okozati kapcsolatban áll a viselkedéssel, ahogy az a tisztán természetes

kognitív folyamatok esetében is van. Ha pedig bármelyik elemet kivesszük a rendszerből, összeomlik, pontosan úgy, ahogy akkor történne, ha az agyunk egy részét távolítanánk el.

A cikkben megjelenő másik, ritkábban emlegetett példázat szerint a Tetris nevű számítógépes játék esetében nincs elvi különbség aközött, hogy egy játékos a síkidomok elforgatását (1) pusztán az elméjében, (2) egy számítógép billentyűinek nyomogatásával egy képernyőre vetítve, vagy (3) egy távoli jövőben az agyába telepített implantátum segítségével hajtja végre.

Érdekes módon az elme kiterjesztésének szemléletmódja tulajdonképpen a mesterséges intelligencia úttörőinek gondolatvilágában is felmerült. Warren S. McCulloch (1950) már cikkének a címében is azt a kérdést teszi fel, hogy miért is kellene az elmét a fejünkön belülre helyeznünk, s a klasszikus test-elme problémát úgy interpretálja, hogy az elme nem más, mint az eszmék és a célok (ideas and purposes), a test pedig nem más, mint az anyag és a folyamatok (stuff and process). Hasonlóképpen Marvin Minsky (1988) úgy véli, hogy az elme az ágensek közötti kölcsönhatásokból létrejövő emergens jelenség, vagyis amit intelligenciának nevezünk, az pusztán a nem intelligens részek egymással történő interakciójának eredménye.

Clark és Chalmers végezetül a kiterjesztés egy további lehetséges értelmezését is felvetik: „Mi a helyzet a társas kiterjesztett kognícióval (socially extended cognition)? Elképzelhető-e, hogy a mentális állapotaimat részben más gondolkodók állapotai alkossák? Nem látunk rá elvi okot, ez miért ne történhetne. Egy szokatlanul egymásra utalt pár esetében teljességgel lehetséges, hogy az egyik partner hitei ugyanazt a szerepet töltsék be a másik számára, mint amit a jegyzetfüzet játszik Ottó számára. Ami központi jelentőségű, az a megbízhatóság, a bizalom és a hozzáférhetőség magas foka.” (Clark–Chalmers 1998, 17) Az itt közölt példa szerint a kedvenc éttermem pincére tekinthető a kedvenc ételeimre vonatkozó hiteim letéteményesének (repository), s hasonló szerepet tölthet be más-más helyzetekben a titkárnőm, a könyvelőm stb.

A társas episztemológia változatai

Ahogy az utóbbi analógiák is rámutatnak, az egyén hiányosságainak ellensúlyozására hivatott közösségi problémamegoldás modelljeinek kialakításával az emberiség nem várt a gépek megjelenésére. A mamut elejtésétől a tudományos kutatásig az emberi vállalkozások jellemző mintázata a kognitív kapacitások maximalizálására való törekvés, s ennek érdekében a kognitív munkamegosztások kialakítása. Kézenfekvőnek tűnhet, hogy a gépi elmék bekapcsolása az ilyen módon szerveződő kognitív társulásokba olyan előnyökkel jár, amelyeket nem akarnánk nélkülözni.

A mesterséges intelligencia eszméje ugyanakkor ebben a kontextusban is alapvető ellenállásba ütközik. Harry M. Collins (1990) például kifejezetten fenyegetőnek érezte a mesterséges intelligencia eszméjét az általa vallott, az individuális megismerő embernek a társas viszonyaiba való beágyazottságát hangsúlyozó megközelítésre nézve. Mégpedig azért, mert ha a gépi értelemnek tudást tulajdonítunk, akkor az azt

jelentené, hogy az emberi értelemnek sem kellene ehhez bármiféle szocializálódásra támaszkodnia. Az intelligens gépek illúziója valójában egyfajta antropomorfizáció eredménye, amelynek során az élettelen tárgyaknak, növényeknek, állatoknak stb. hajlamosak vagyunk az emberéhez hasonló szándékokat, cselekvéseket tulajdonítani. Ámde „a gép nem egy közössége vagy egy tagja a társadalomnak” (Collins 1990, 3) – vagyis az igazi Turing-tesztnek nem annak kellene lennie, hogy képes-e a gép az emberi agy tevékenységét hamisítani, hanem hogy tudná-e egy társadalomban élő emberi lény funkcióit mutatni.

Harminc évvel később Collins (2021) továbbra is ugyanazt a szkeptikus álláspontot látszik vallani a *Turing-teszt igényes változatának* (demanding versions of the Turing Test, 'DTT's) nevezett elvárásával, azaz hogy képes-e a gép a társas kontextus olyan fokú megértésére, hogy egy töredezett közlést emberszerűen ki tudjon egészíteni. Szerinte a mesterséges intelligencia fejlettségét illetően általa elkülönített hat szint közül jelenleg a termosztátban megtestesülő *mérnöki intelligencia* (engineered intelligence) szintjét ugyan már elhagytuk, de az *aszimmetrikus protézisek* (asymmetrical prostheses), azaz „olyan munkafolyamatok, amelyeket valaha ember végzett, de mostanra átadta a gépnek” II-es szintjének felső határán vagyunk. Ám még mindig nagyon messze a III-astól, amely a *szimmetrikus kultúra-fogyasztók* (symmetrical culture-consumers), tehát a társas kontextusokba megfelelően beilleszkedni képes, az emberi kultúrát teljes mélységében megértő gépeké volna – vagyis amelyek az igényes Turing-teszten is átmennének.

Collins megsemmisítőnek szánt ellenérve azonban több szempontból is sérülékenynek tűnhet. Egyfelől, mert éppen ez utóbbi tekintetben lépett új szintre a mesterséges intelligencia a közelmúltban a nagy nyelvi modellekre építő alkalmazások megjelenésével. Másfelől azért, mert ahogy arra Alvin I. Goldman (2010) felhívta a figyelmet, ez a radikális társadalmasító, általa *revizionistának* (revisionist) nevezett megközelítés, amely a tudás mögött meghúzódó valamiféle rejtett mintázatok felfedésében érdekelt, valójában már kilép az ismeretelmélet hagyományos keretei közül.

Goldman (1987) szerint a *társas episztemológia* (social epistemology) fő témái a tanúság (testimony) episztemikus értéke, a szakértőség (expertise) természete és működése, a közösségeken belüli kognitív munkamegosztás a tagok között, illetve a csoporttudások státusza. Ha ebbe a keretbe illesztve vizsgáljuk a mesterséges intelligencia jelenségeit, akkor a szimbiotikus működés részletei azoknak a jól ismert helyzeteknek az analógiáiként lesznek értelmezhetőek, amikor az individuális megismerő ember a saját egyedi megismerési folyamatain túli forrásokra támaszkodik. Ha valamilyen kérdésben úgy alakítjuk ki az álláspontunkat, hogy saját közvetlen tapasztalás híján egy episztemikus autoritáshoz fordulunk, akkor ez utóbbi jelentheti a természetes intelligenciát (szakember), a mesterséges intelligenciát (szakértői rendszer) vagy éppen a kétféle értelem együttes jelenlétét (internetes keresés).

Goldman (2010) szerint létezik a *társas episztemológia* (social epistemology) kutatási területén belül a fentitől elkülönülő két másik irány, amelyek folytonosak tudnak maradni a klasszikus kérdésfeltevésekkel. A *megőrző* (preservationist) megközelítés

jellemző kérdésfeltevései a tanúságtételre (testimony), illetve a véleménykülönbségekre (peer disagreement) irányulnak, s jól értelmezhetőek a mesterséges intelligencia vonatkozásában is. Milyen feltételek mellett tekintjük igazoltnak, hogy igaznak fogadjunk el egy mesterséges intelligenciától kapott állítást? Milyen feltételek mellett fogadjuk el, hogy felül kell bírálnunk eredeti, a mesterséges intelligenciával ellentétes álláspontunkat? Milyen feltételek mellett tekintjük egy tudományos állítás melletti bizonyítéknak a mesterséges intelligencia által közvetített megfigyeléseket?

A *kiterjesztő* (expansionist) irányzat fő kérdései a *kollektív vélekedő ágensek* (collective doxastic agents) episztemikus jellemzőit és az alternatív társas rendszereknek az episztemikus eredményekre tett befolyását érintik. Az előbbi a csoportos ágensek kapcsán a gép és ember együttműködéséből létrejövő sajátos egységek értelmezésének adhat keretet az olyan esetekben, mint például az orvosi diagnózisok felállítása. Az utóbbi pedig azoknak a társadalmi alrendszereknek az episztemikus vizsgálatát és értékelését teszi lehetővé, amelyekben szintén egyre fokozódó mértékben jut szerephez a mesterséges intelligencia a bírósági ítélethozataltól a szólásszabadság szabályozásán át a demokratikus intézményrendszer működtetéséig.

A társulás módozatai

A mesterséges intelligencia *társas fordulata* (Cristianini et al. 2023) már nem elkülönülten vizsgálja a kétféle intelligenciát, hanem együttműködő szerveződéseiket tekintti alapegységnek. Ezekben az esetekben az intelligencia ismervéül szolgáló célvezérelt cselekvés nemcsak az emberi résztvevők szintjén, hanem a gépi komponensekkel együtt tekintett nagy rendszereken is vizsgálható. Ami természetesen az ember és a gép közötti kommunikáció szigorúan szabályozott formáit feltételezi, ahol a mesterséges intelligencia működését erőteljesen és hatékonyan táplálják az emberi résztvevők viselkedési mintázatai. Az emberi részvétel lehet fizetett vagy önkéntes vagy önkéntelen-észrevétlen. Az így felépülő rendszereket pedig *társas gépeknek* (social machines) nevezhetjük, amelyekben az infrastruktúra és az algoritmusok szétválaszthatatlanul összefonódnak az emberi felhasználókkal.

Ezeknek a rendszereknek a működtetése természetesen számos etikai kérdést is felvet, ismeretelméleti szempontból azonban a *kétféle résztvevő viszonya* lesz az érdekes. Mégpedig abban a tekintetben, hogy melyikük fogja birtokolni az episztemikus irányítást: az ember utasítja a gépet, vagy adott esetben a gép utasíthatja az embert, mint például a futárok itinereit optimalizáló automata diszpécserrendszer esetében. Az episztemológiai autoritás átruházásának helyessége ebben az esetben a hatékonyság felől nézve megkérdőjelezhetetlen: a gép gyorsabban és pontosabban fogja átlátni a pillanatnyi helyzetet, ilyen értelemben tehát jobb döntéseket fog hozni, mint az ugyanabba a szerepbe állított ember. Aminek viszont az az ára, hogy kis fogaskerekeként nem rendelkezünk többé a rendszer egészének működése, illetve céljai fölötti áttekintéssel – de ez sem tekinthető újdonságnak, amennyiben a személyes szándékokat magukba olvasztó arctalan mechanizmusokat a modern tömegtársadalmak alap-

vető sajátjaként tartjuk számon. Így aztán a természetes és mesterséges intelligencia társas együttélésének egyik legfontosabb elvi és gyakorlati kérdése az lesz, hogy mikor, milyen mértékben és milyen feltételekkel ruházza át az ember autonómiájának, szuverenitásának, identitásának adott hányadát a gépre.

A szimbiózis működése a gyakorlatban azt jelenti, hogy az evolúciós előnyök reményében már ma is számtalan területen hagyatkozunk előszeretettel és teljes bizalommal a mesterséges intelligencia segítségére a műholdas útvonaltervezéstől a fordítóprogram használatán át a bibliográfiai adatbázisban történő keresésig. Ha bármilyen okból ragaszkodni próbálok mondjuk a nyomtatott térkép használatához, azzal komoly evolúciós hátrányba kerülök – nem a mesterséges intelligenciával, hanem az egymással versengő viszonyban lévő embertársaimmal szemben.

A szimbiotikus használat során tehát a kognitív folyamatok részleges delegálása történik, éppen úgy, ahogy a társas tudás hagyományos eseteiben. Ez jelentheti az észlelés kiterjesztését, a feldolgozás (mérlegelés, döntés, visszacsatolás, ellenőrzés) átengedését vagy az episztemikus autoritás átruházását. A folyamatok sikere szempontjából pedig tulajdonképpen mellékes, hogy mindeközben tulajdonítok-e tudatosságot, személyiséget, felelősséget a mesterséges intelligenciának. Éppen elegendő, hogy episztemikus entitásként kezelem, azaz a *saját elmém hiteles információit nyújtó kiterjesztéseként*. A beérkező információk *hitelesítése* ugyanakkor továbbra is *mérlegelést* igényel, aminek eredményeként a mesterséges partnerek megítélése ugyanúgy a *megbízhatóság* fogalmával lesz leírható, mint a természetes társaké.

Kemény János annak idején az ember és a gép együttélésében rejlő kölcsönös előnyök kapcsán annak a reményének adott hangot, hogy „ennek a közösségnek a segítségével maga az ember is nagyot fog fejlődni, anélkül hogy a biológiai változás lassú folyamatára kellene várnia” (Kemény 1978, 175). Azt mondhatjuk tehát, hogy összességében nem az ember optimalizálása, nem is a gép optimalizálása, hanem *szimbiózisuk optimalizálása* lehet az evolúciós tekintetben racionális cél.

A tanulmány megírását az NKFIH/OTKA K 132911 pályázata támogatta.

Irodalomjegyzék

- Ashby, William Ross (1956). *An Introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall.
- Clark, Andy – Chalmers, David (1998). „The Extended Mind”. *Analysis*, 58/1, 7–19.
- Collins, Harry M. (1990). *Artificial Experts. Social Knowledge and Intelligent Machines*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Collins, Harry M. (2021). „The Science of Artificial Intelligence and Its Critics”. *Interdisciplinary Science Reviews*, 46/1–2, 53–70. <https://doi.org/10.1080/03080188.2020.1840821>.
- Copeland, B. Jack (2000). „The Turing Test”. *Minds and Machines*, 10/4, 519–539. <https://doi.org/10.1023/A:1011285919106>.
- Cristianini, Nello – Scantamburlo, Teresa – Ladyman, James (2023). „The Social Turn of Artificial Intelligence”. *AI & Society*, 38/1, 89–96. <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01289-8>.
- Goldman, Alvin I. (1987). „Foundations of Social Epistemics”. *Synthese*, 73/1, 109–144. <https://doi.org/10.1007/BF00485444>.

- Goldman, Alvin I. (2010). „Why Social Epistemology Is *Real* Epistemology”. In: Haddock, Adrian – Millar, Alan – Pritchard, Duncan, szerk. *Social Epistemology*. Oxford: Oxford University Press, 1–28.
- Kemeny, John G. (1978). *Az ember és a számítógép*. Ford. Freud Róbert. Budapest: Gondolat Kiadó.
- Licklider, Joseph C. R. (1960). „Man-Computer Symbiosis”. *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, 1/1, 4–11.
- Licklider, Joseph C. R. – Clark, Welden E. (1962). „On-Line Man-Computer Communication”. *AIEE-IRE '62*, 113–128.
- Marx György (2000). *A marslakók érkezése. Magyar tudósok, akik nyugaton alakították a 20. század történelmét*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- McCulloch, Warren S. (1950). „Why the Mind Is in the Head?” *Dialectica*, 4/3, 192–205.
- Minsky, Marvin (1988). *The Society of Mind*. New York, NY: Simon & Schuster.
- Rényi Alfréd (1976). „Az információ matematikai fogalmáról”. In: Rényi Alfréd: *Napló az információelméletéről*. Budapest: Gondolat Kiadó, 11–94.
- Saygin, Ayse Pinar – Cicekli, Ilyas – Akman, Varol (2000). „Turing Test: 50 Years Later”. *Minds and Machines*, 10/4, 463–518. <https://doi.org/10.1023/A:1011288000451>.
- Turing, Alan M. (1950). „Computing Machinery and Intelligence”. *Mind*, 59/236, 433–460.

Szabados László képeslapgyűjteményéből



Széchenyi István szobra az MTA székháza előtti téren (Engel József alkotása 1880-ból.

Képzőművészeti Kiadó, Inkey Tibor felvétele)

Forrás: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/16318/>



A Magyar Tudományos Akadémia székháza Tomori Ede 1985-ben készített felvételén.

Képzőművészeti Kiadó

Forrás: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/16316/>

TANULMÁNYOK

A humán kutatás társadalmi hatásairól On the Societal Impact of Human Sciences Research

Fertő Imre

az MTA doktora, egyetemi tanár, Budapesti Corvinus Egyetem Rektori Szervezet Vállalkozás és Innováció Intézet
Agrárközgazdasági és Vidékfejlesztési Tanszék, Budapest
főigazgató, ELTE Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont, Budapest
ferto.imre@krtk.elte.hu

Összefoglalás

A tanulmány áttekinti a tudományos kutatások társadalmi hatásairól szóló irodalmat, különös tekintettel a humán tudományokra. Az elmúlt években a kutatások társadalmi hatásainak jelentősége megnőtt, ebből következően a tudományos eredményeket nemcsak a tudományos közösség, hanem a társadalom számára is kiemelten szükséges hasznosíthatóvá tenni. Az eredményesség felmérését hátráltatja, hogy a hagyományos kvantitatív értékelési módszerek, mint például a hivatkozásszámok, nem tükrözik teljes mértékben a humán tudományok minőségi, hosszú távú hatásait. A tanulmány arra kívánja felhívni a figyelmet, hogy a célorientált kutatási keretek, a rendszerszemlélet, valamint a közös alkotás elvitathatatlan fontossággal bír a kutatások társadalmi relevanciájának növelésében. Az érvelés kiter az intézményi stratégiák és az interdiszciplináris megközelítések jelentőségére, valamint a vegyes módszerek, jelesen a gépi tanulás és az Altmetrics (alternative metrics) mutatóinak alkalmazhatóságára is a társadalmi hatások értékelésében. Összegzésképpen megállapítható, hogy a felsorolt új módszerek lehetővé teszik a kutatások szélesebb körű társadalmi hatásainak mérését és felismerését.

Abstract

This paper reviews the literature on the societal impact of scientific research, with a particular focus on the human sciences. In recent years, the significance of the societal impact of research has increased with scholarly output now expected to benefit not only the academic community but society as a whole. Traditional quantitative evaluation methods, such as citation counts, often fail to capture the qualitative, long-term impact of research in the human sciences. This study aims to draw attention to the undeniable importance of goal-oriented research frameworks and systems approaches, while emphasizing the significance of co-creation in enhancing the societal relevance of research. The argument also addresses the importance of institutional strategies and interdisciplinary approaches, and the applicability of mixed methods—notably, machine learning and Altmetrics (alternative metrics) indicators—in evaluating societal impact. The paper concludes that these new methods will facilitate the measurement and recognition of the wider societal impact of research.

Kulcsszavak: társadalmi hatás, kutatásértékelés, tényalapú szakpolitika

Keywords: societal impact, research assessment, evidence-based policy

Bevezetés

A tudományos kutatások társadalmi hatásaival kapcsolatos elvárások megnövekedtek a 21. században. A kutatásnak képesnek kell lennie arra, hogy ne csak a tudományos értékelésnek tegyen eleget, hanem kézzelfogható módon járuljon hozzá a társadalom jólétéhez. A humán tudományok – beleértve a társadalomtudományokat, a bölcsészettudományokat és a kapcsolódó diszciplínákat – képesek betekintést nyújtani a társadalmi kihívások emberi dimenzióiba, és hozzájárulhatnak a kutatások társadalmi hatásának előmozdításához (Bastow–Dunleavy–Tinkler 2014). A hatások felmérése azonban gyakran nehéz, mivel alapvetően diffúzak, hosszú távúak és nehezen számszerűsíthetők. A jelen cikk többféle perspektíván keresztül igyekszik bemutatni a kutatás társadalmi hatásait, amelyeknek felismerése, a fokozásukra törekvő kutatói erőfeszítés rendkívüli fontossággal bír. Az irodalom jelenlegi állásának összefoglalása rávilágít a humán tudományok társadalmi értékeire, valamint a kutatás és gyakorlat közötti szakadék áthidalásának kihívásaira. A záró egység végezetül néhány ajánlást fogalmaz meg a döntéshozók számára, hogy az összetett társadalmi kihívásokra adott hatékonyabb válaszok segítségével miként támogathatnák jobban a kutatások felismert társadalmi hatását ezeken a kritikus területeken.

A társadalmi hatás értékelési kereteinek fejlődése

A kutatások társadalmi hatásainak értékelése folyamatosan változó terület, amely inkább a tudományos munka eredményeképp létrejövő közvetlen és közvetett változásokra koncentrál. Az eddigi hagyományos értékelési módszerek, amelyek többnyire a bibliometriai mutatókra – például a hivatkozásszámokra és a publikációs impaktfaktorokra – támaszkodtak, egyre több kritikát kaptak. Az ilyen mutatók ugyanis nem tükrözik pontosan a kutatás szélesebb társadalmi hasznosulását, ami különösen igaz a humán tudományok esetében. Az ellentmondások azonosítása eredményeként az értékelési módszerek a keretek fejlődése felé, illetve a társadalmi, gazdasági és környezeti hatások holisztikusabb feltérképezése irányába mozdultak el.

Az egyik legfontosabb tendencia a célorientált kutatási keretek megjelenése, amelyek jelentősége a kutatások társadalmi küldetésekhez való igazításában áll. Lena Pfeifer és Katharina Helming (2024) olyan keretet javasolnak, amely integrálja a kutatási célokat a globális kihívások kezelésére irányuló törekvésekkel, mint például a fenntarthatósággal, az egészségügyi egyenlőtlenségek csökkentésével vagy a társadalmi igazságosság előmozdításával. Az ilyen rendszerek figyelembe veszik, hogy a kutatások hatásai gyakran nem közvetlenek, és nem mérhetők azonnal, sokkal inkább összetett társadalmi és környezeti rendszerekben valósulnak meg; ráadásul hosszabb időt igényelnek ahhoz, hogy teljes hatásukat kifejtse.

A rendszerszemléletű megközelítések szakítanak az eddigi lineáris hatásmodellekkel, amelyek egyenes vonalat húztak a kutatási eredmény és annak társadalmi hasznosulása között. Az új megközelítés elismeri, hogy a kutatások hatásai sokszor

nem közvetlenül, hanem többféle útvonalon keresztül, sok érintett fél bevonásával érvényesülnek. A humán tudományokra kiemelten jellemző a nem lineáris hatás, mert ezeken a területeken a társadalmi változások hosszú távon, kulturális és politikai hatások révén jönnek létre.

Az utóbbi években egyre nagyobb hangsúly helyeződött a közös alkotásra és az érintett felek bevonására a kutatási folyamatok során. Daria-Maria Gerke, Katrin Uude és Thorsten Kliewe (2023) olyan közös alkotási modellt javasolnak, amely alapján az érintettek bevonása a kutatás valamennyi szakaszába – a kutatási kérdések meghatározásától kezdve egészen az eredmények felhasználásáig – ténylegesen képes növelni a kutatási eredmények társadalmi relevanciáját és hatását. Módszerük lehetővé teszi az olyan területeken – ilyen a közegészségügy, a társadalompolitika, illetve a környezetvédelem –, ahol a kutatási eredmények gyakorlati alkalmazhatósága létfontosságú a valódi változások eléréséhez.

A társadalmi hatás értékelési kereteiben megfigyelhető egy másik meghatározó tendencia, mégpedig a fenntarthatóság és a társadalmi felelősség kérdéseinek integrálása. Florian Findler (2021) szerint a fenntarthatóság nemcsak gazdasági és környezeti értelemben fontos, hanem társadalmi szempontból is, hiszen a kutatásoknak hozzá kell járulniuk a hosszú távú társadalmi fejlődéshez. A fenntarthatósági értékelési keretek lehetővé teszik, hogy a kutatók ne csak a rövid távú tudományos eredményeket vehessék figyelembe, hanem képessé váljanak kutatásaik hosszú távú társadalmi és környezeti következményeinek felmérésére is. Az ilyen keretek különösen relevánsak az olyan területeken, mint az üzleti tudományok, ahol egyre nagyobb hangsúlyt kap a vállalati társadalmi felelősség, valamint annak kérdése, hogy a kutatások miként segíthetnek a fenntartható üzleti gyakorlatok kialakításában. Marianne Lykke és szerzőtársai (2023) a taxonómiaalapú mutatók használatát javasolják a társadalmi hatások értékelésére. Ezek a mutatók lehetővé teszik, hogy az eltérő tudományterületeken végzett kutatások különféle típusú társadalmi hatásairól számot adhassunk. Míg a természettudományok és a műszaki tudományok esetében a technológiai innovációk és a gazdasági hatások könnyen mérhetők, a humán tudományok esetében a hatások gyakran a közpolitikai befolyás, a közönségkapcsolatok vagy a kulturális értékek formálásában nyilvánulnak meg. A taxonómiaalapú mutatók használata lehetőséget biztosít arra, hogy pontosabban értékeljük, hogyan járul hozzá a kutatás a társadalom fejlődéséhez, figyelembe véve a különböző tudományterületek sajátos jellegét és hatásait.

Bár ezek a keretek értékes eszközöket kínálnak a társadalmi hatások értékeléséhez, David Budtz Pedersen, Jonas Følsgaard Grønvad és Rolf Hvidtfeldt (2020) rámutatnak, hogy továbbra is kihívásokkal kell szembenézni. Kiemelik, hogy a társadalom- és bölcsészettudományok hatásának vizsgálatára szolgáló módszerek még mindig fejlesztés alatt állnak, és az eredményességhez nagyobb módszertani szigorra, illetve konszenzusra van szükség. Érvelésük szerint a kvalitatív és a kvantitatív módszerek kombinálása döntő fontosságú a hatások összetettségének megértésében.

Az egyetemek lényegi szerepet játszanak a tudás létrehozásában és terjesztésében, ezért kulcsfontosságú, hogy miként alakítják a kutatások társadalmi hatásait.

A felsőoktatás műhelyei nemcsak kutatási központok, de egyben olyan intézmények is, ahol a tudományos eredmények társadalmi alkalmazása és hasznosítása hatékonyan történhet meg. Stefan de Jong és Corina Balaban (2022) rámutatnak, hogy az egyetemek egyre tudatosabb stratégiákat dolgoznak ki a társadalmi hatások előmozdítására. Ezek a stratégiák magukban foglalják a társadalmi hatásokat célzó kutatások támogatását, a kutatási és társadalmi szereplők közötti együttműködés ösztönzését, valamint az olyan intézményi mechanizmusok kialakítását, amelyek elősegítik az eredmények közvetlen alkalmazását a társadalmi szférában. A kutatási intézmények támogatásának szerepe rendkívül fontos, mivel ezek az intézkedések segíthetnek abban, hogy a kutatások valós hatást gyakoroljanak a társadalomra, és a kutatók közvetlen folyamatokat alakítsanak ki a tudomány és annak társadalmi hasznosulása között. Benedikt Fecher és Marcel Hebing (2021) szerint az akadémiai identitás változása szintén meghatározó szerepet játszik a társadalmi hatások növelésében. Balaban és de Jong (2023) rámutatnak arra, hogy a kutatóktól egyre inkább elvárják, hogy figyelembe vegyék kutatásaik társadalmi hatásait, és ne pusztán a tudományos közösség számára hasznos tudományos eredményekre koncentráljanak. Ez a változás kifejezetten fontos a kutatók számára, akiknek tudatosan törekedniük kell arra, hogy olyan projektekbe kapcsolódjanak be, amelyek a tudományos eredmények mellett valódi társadalmi hasznossággal is bírnak.

A társadalmi hatások mérésének kihívásai a humán tudományokban

A humán tudományok társadalmi hatásainak egyik fő kihívása abban az időtávban keresendő, amely a kutatási eredmények megjelenése és azok társadalmi hatása között húzódik. Ohid Yaqub, Dimitry Malkov és John Siepel (2023) szerint a társadalomtudományok és bölcsészettudományok esetében gyakran évekig, sőt akár évtizedekig is eltarthat, mire a kutatások hatásai valódi változásokat idéznek elő a közpolitikában vagy a társadalmi normákban. Példának okáért, egy közgazdasági tanulmány eredményei fokozatosan hatnak a közpolitikai vitákra és a közvéleményre, míg egy bölcsészeti kutatás – mint például egy történelmi elemzés – hosszú távon formálhatja a kulturális megértést vagy a társadalmi párbeszédet. Az időbeli eltolódás mellett másik jellemző, hogy a humán tudományok kutatásainak hatásai nem érvényesülnek közvetlenül, gyakran nem lineárisak. A műszaki tudományokkal ellentétben, ahol a kutatás jellemzően egy új terméket vagy technológiát eredményez, a humán tudományokban a hatások összetettebbek és közvetettebbek. A társadalmi változások gyakran kulturális, politikai és közösségi tényezők kölcsönhatása révén jönnek létre, ami azt jelenti, hogy a kutatások hatása nem mindig lesz közvetlenül mérhető vagy egyértelműen hozzárendelhető egy adott kutatáshoz.

A humán tudományok társadalmi hatásainak mérésében az egyik legnagyobb akadály a minőségi hatások és a hagyományos, kvantitatív mutatók korlátai közötti ellentmondás. Emanuela Reale és szerzőtársai (2018), illetve Duncan A. Thomas és szerzőtársai (2020) rámutatnak, hogy a tudományos hatások hagyományos mérőszá-

mai, mint például a hivatkozások száma és a folyóiratok impaktfaktora, nem alkalmasak a humán tudományok szélesebb körű társadalmi hatásainak megragadására. A közvetlen társadalmi hatások, mint például a közpolitikai változások vagy a társadalmi attitűdök változása, gyakran nehezen mérhetők, és csak hosszú távon képesek érvényesülni (Sørensen et al. 2022). Ebből adódóan az értékelési módszereknek egyre inkább figyelembe kell venniük a minőségi értékelési technikák alkalmazását. Teresa Sordé-Martí és szerzőtársai (2020) szerint az esettanulmányok, interjúk és az írásos beszámolók hatékony eszközök lehetnek a kutatási hatások átfogóbb feltárásában, mivel lehetővé teszik a kutatások szélesebb körű hatásainak – például a kulturális vagy társadalmi változásoknak – a mérését. A kutatások társadalmi hatásának növelésére az egyik leghatékonyabb eszköz a média bevonása. Hans Jonker, Florian Vanlee és Walter Ysebaert (2022) hangsúlyozzák, hogy a média jelentős szerepet játszik a kutatási eredmények szélesebb közönséghez történő eljuttatásában, különösen igaz ez a humán tudományok esetében, ahol a kutatási eredmények gyakran kulturális vagy társadalmi kérdésekkel foglalkoznak. A média hatékony eszköz lehet arra, hogy a kutatási eredményeket közérthető formában mutassa be a közönség szélesebb rétegei számára, s ezzel hozzájáruljon a kutatások társadalmi relevanciájának növeléséhez.

A társadalmi hatásértékelés módszereinek fejlődése

Ahogy a kutatási hatások iránti igény növekszik, egyre nagyobb hangsúly helyeződik a társadalmi hatások mérésének új és innovatív módszereire. A szakirodalom egyre inkább vegyes módszerek, valamint új technológiák és a digitális eszközök alkalmazását javasolja a kutatások társadalmi hatásainak átfogóbb értékelésére. A vegyes módszerek kombinálják a kvantitatív és kvalitatív megközelítést annak érdekében, hogy átfogóbb képet adhassanak a kutatások társadalmi hatásairól. Jorrit P. Smit és Laurence K. Hessels (2021) amellet érvelnek, hogy a vegyes módszerek határozottan alkalmasak a humán tudományok területén, ahol a kutatási hatások gyakran összetettek és hosszú távúak. A kvantitatív adatok, például a hivatkozások és az Altmetrics kombinálása a kvalitatív eszközökkel – ilyenek az esettanulmányok és interjúk – átfogóbb és részletesebb képet adhat a kutatások valódi társadalmi hatásairól.

A gépi tanulás és a szövegbányászat (text mining) új lehetőségeket nyit a társadalmi hatás mérésében. Kate Williams (2020) szerint a gépi tanulási algoritmusok segítségével az elemzők nagy adatbázisokat képesek feldolgozni, és ennek révén azonosítani tudják a kutatási eredmények és társadalmi hatások közötti mintázatokat. A szövegbányászati eszközök különösen hasznosak lehetnek a kutatási eredmények közösségi médiában vagy nyilvános dokumentumokban való megjelenésének nyomon követésére, valamint annak feltárására, hogy a kutatás miként befolyásolja a közbeszédet (Kousha–Thelwall–Abdoli 2021; Zheng–Pee–Zhang 2021).

Ezeknek az eszközöknek a jelentősége kiemelkedően fontos lehet a nagyobb léptékű kutatási projektek értékelésében, ahol a hagyományos értékelési módszerek túlságosan idő- és erőforrásigényesek lennének. Az Altmetrics, illetve más hasonló

kezdeményezések módszertanai – amelyek többek között a közösségi médiában történő megosztások, letöltések és *online* hivatkozások adatbázisait elemzik, dolgozzák fel – egyre nagyobb szerepet játszanak a társadalmi hatások nyomon követésében. Bár az Altmetrics eljárásait gyakran bírálják, mert a népszerűséget helyezik előtérbe a tartalom minősége helyett, mégis értékes adatokat szolgáltatnak a kutatási eredmények nyilvános láthatóságáról és közvetlen eléréséről. Az Altmetrics jelentős szerephez juthat a kutatások közönségkapcsolati és nyilvános megjelenésének mérésében, amelyek fontos elemei a kutatások társadalmi hatásainak.

Politikai és intézményi következmények

A társadalmi hatásokkal kapcsolatos kutatások politikai és szervezeti következményekkel járnak. Ahogy a finanszírozó szervek és az egyetemek egyre nagyobb figyelmet fordítanak a társadalmi hatásokra, egyre inkább szükségessé válik a megfelelő politikák és ösztönző struktúrák kialakítása, amelyek elősegítik a kutatások társadalmi hatásainak növelését. Az intézményi szintű támogatás alapvető fontosságú a társadalmi hatások előmozdításában. De Jong és Balaban (2022) rámutatnak arra, hogy az egyetemeknek olyan mechanizmusokat kell kialakítaniuk, amelyek lehetővé teszik a kutatóknak, hogy nagyobb figyelmet fordítsanak a társadalmi hatásokra. Ilyen mechanizmusok lehetnek a hatásfinanszírozási programok, valamint a társadalmi hatás figyelembevétele a kinevezési és habilitációs eljárásokban.

A társadalmi hatások gyakran hosszú távon bontakoznak ki, különösen így van ez a humán tudományok területén. Ohid Yaqub és szerzőtársai (2023) szerint szükség van a távlatos kutatási finanszírozásra, amely lehetővé teszi a kutatók számára, hogy hosszabb időn keresztül dolgozzanak olyan projekteken, amelyek jelentős társadalmi hatással bírhatnak. A hosszú távú finanszírozás lehetőséget biztosít arra, hogy a kutatások hatásai teljes mértékben érvényesüljenek.

A komplex társadalmi problémák megoldásához pedig interdiszciplináris megközelítésre van szükség. Pfeifer és Helming (2024) hangsúlyozzák, hogy a különböző tudományterületek közötti együttműködés elengedhetetlen a társadalmi hatások maximalizálásához. Az interdiszciplináris kutatások olyan új perspektívákat nyújtanak a társadalmi problémák megoldásához, amelyek túlmutatnak az egyes tudományterületek hagyományos keretein.

Zárszó

A társadalmi hatások értékelésének módszerei folyamatosan fejlődnek annak köszönhetően, hogy egyre nagyobb hangsúly helyeződik a kutatások társadalmi hasznosulására. A egyes módszerek, a közös alkotási folyamatok és az új technológiák alkalmazása mind-mind fontos elemei annak, hogy a kutatások hatásai átfogóbb módon váljanak mérhetővé. A humán tudományok különleges kihívásokkal szembesülnek a társadalmi hatások mérésében, ugyanakkor az új módszerek és megközelítések

lehetőséget kínálnak arra, hogy ezek a területek is elismertté váljanak a társadalmi hasznosság szempontjából. A jövőben várhatóan egyre nagyobb hangsúlyt kapnak az interdiszciplináris kutatások, illetve az érintettek bevonására való törekvés, amelyek révén a tudomány még inkább hozzájárulhat a társadalom aktuális kihívásainak kezeléséhez.

Irodalomjegyzék

- Balaban, Corina – de Jong, Stefan (2023). „Academic Identity at the Intersection of Global Scientific Communities and National Science Policies: Societal Impact in the UK and Netherlands”. *Studies in Higher Education*, 48/6, 941–962. <https://doi.org/10.1080/03075079.2023.2195424>. <https://tinyurl.com/mus82rj5>.
- Bastow, Simon – Dunleavy, Patrick – Tinkler, Jane (2014). *The Impact of the Social Sciences: How Academics and Their Research Make a Difference*. New York, NY: SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781473921511>.
- de Jong, Stefan – Balaban, Corina (2022). „How Universities Influence Societal Impact Practices: Academics’ Sense-Making of Organizational Impact Strategies”. *Science and Public Policy*, 49/4, 609–620. <https://doi.org/10.1093/scipol/scac012>. <https://academic.oup.com/spp/article/49/4/609/6552261>.
- Fecher, Benedikt – Hebing, Marcel (2021). „How Do Researchers Approach Societal Impact?” *PLOS One*, 16/7, e0254006. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254006>.
- Findler, Florian (2021). „Toward a Sustainability Assessment Framework of Research Impacts: Contributions of a Business School”. *Sustainable Development*, 29/6, 1190–1203. <https://doi.org/10.1002/sd.2218>.
- Gerke, Daria-Maria – Uude, Katrin – Kliewe, Thorsten (2023). „Co-creation and Societal Impact: Toward a Generic Framework for Research Impact Assessment”. *Evaluation*, 29/4, 489–508. <https://doi.org/10.1177/13563890231195906>.
- Jonker, Hans – Vanlee, Florian – Ysebaert, Walter (2022). „Societal Impact of University Research in the Written Press: Media Attention in the Context of SIUR and the Open Science Agenda Among Social Scientists in Flanders, Belgium”. *Scientometrics*, 127/12, 7289–7306. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04374-x>. <https://tinyurl.com/3tbyrk75>.
- Kousha, Kayvan – Thelwall, Mike – Abdoli, Manshid (2021). „Which Types of Online Evidence Show the Nonacademic Benefits of Research? Websites Cited in UK Impact Case Studies”. *Quantitative Science Studies*, 2/3, 864–881. https://doi.org/10.1162/qss_a_00145.
- Lykke, Marianne et al. (2023). „Mapping Research Activities and Societal Impact by Taxonomy of Indicators: Uniformity and Diversity Across Academic Fields”. *Journal of Documentation*, 79/5, 1049–1070. <https://doi.org/10.1108/JD-06-2022-0131>. <https://tinyurl.com/2s4afdrn>.
- Pedersen, David Budtz – Grønvald, Jonas Følsgaard – Hvidtfeldt, Rolf (2020). „Methods for Mapping the Impact of Social Sciences and Humanities – A Literature Review”. *Research Evaluation*, 29, 1, 4–21. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvz033>.
- Pfeifer, Lena – Helming, Katharina (2024). „Effective Mission-Oriented Research: A New Framework for Systemic Research Impact Assessment”. *Research Evaluation*, 29/4, rvae003. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvae003>.
- Reale, Emanuela et al. (2018). „A Review of Literature on Evaluating the Scientific, Social and Political Impact of Social Sciences and Humanities Research”. *Research Evaluation*, 27/4, 298–308. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvx025>.
- Smit, Jorrit P. – Hessels, Laurence K. (2021). „The Production of Scientific and Societal Value in Research Evaluation: A Review of Societal Impact Assessment Methods”. *Research Evaluation*, 30/3, 323–335. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvab010>.
- Sordé-Martí, Teresa et al. (2020). „Qualitative Inquiry: A Key Element for Assessing the Social Impact of Research”. *Qualitative Inquiry*, 26/8–9, 948–954. <https://doi.org/10.1177/1077800420938117>.

- Sørensen, Ole Henning et al. (2022). „Measuring Societal Impact of Research – Developing and Validating an Impact Instrument for Occupational Health and Safety”. *Research Evaluation*, 31/1, 118–131. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvab036>.
- Thomas, Duncan A. et al. (2020). „Changing Research on Research Evaluation: A Critical Literature Review to Revisit the Agenda”. *Research Evaluation*, 29/3, 275–288. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvaa008>.
- Williams, Kate (2020). „Playing the Fields: Theorizing Research Impact and Its Assessment”. *Research Evaluation*, 29/2, 191–202. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvaa001>.
- Yaqub, Ohid – Malkov, Dimitry – Siepel, John (2023). „How Unpredictable Is Research Impact? Evidence from the UK’s Research Excellence Framework”. *Research Evaluation*, 32/2, 273–285. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvad019>.
- Zheng, Han – Pee, Loo Geok – Zhang, Dan (2021). „Societal Impact of Research: A Text Mining Study of Impact Types”. *Scientometrics*, 126, 7397–7417. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04096-6>.

A mesterséges intelligencia alkalmazásai az űridőjárás vizsgálatában

Applications of Machine Learning in Space Weather Studies

Bíró Nikolett¹ – Kobán Gergely²

¹ doktori hallgató, tudományos segédmunkatárs, HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont Űrfizikai és Űrtechnikai Osztály, Budapest; Department of Climate and Space Sciences and Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, USA
nikolett@umich.edu

² doktori hallgató, tudományos segédmunkatárs, HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont Űrfizikai és Űrtechnikai Osztály, Budapest; Department of Climate and Space Sciences and Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, USA
gergelyk@umich.edu

Összefoglalás

A Föld plazmakörnyezetében lejátszódó időbeli változások jelentős hatással lehetnek a földi és űrbeli technológiára és infrastruktúrára. Ezeket a változásokat nevezzük összefoglalóan űridőjárásnak, és előrejelzésük egyre kritikusabbá válik a modern társadalom számára. Az előrejelzések pontosságának javítása érdekében egyre nagyobb szerepet kap a mesterséges intelligencia (MI) bevonása mind a modellezésbe, mind a lejátszódó folyamatok vizsgálatába. Ezen tanulmány célja, hogy bemutassa az MI ilyen célú alkalmazási lehetőségeit, különös tekintettel a napszél és a geomágneses viharok előrejelzésére.

Abstract

Temporal changes in Earth's plasma environment can severely impact terrestrial and space technology and infrastructure. Forecasting of these changes, known as space weather, is becoming increasingly critical for modern society. The integration of artificial intelligence (AI) into both the modeling and the study of underlying processes is gaining traction to improve forecast accuracy. This study aims to showcase the potential use of AI, with a specific focus on forecasting solar wind and geomagnetic storms.

Kulcsszavak: űridőjárás, napszél, előrejelzés, plazma, geomágneses vihar

Keywords: space weather, solar wind, forecast, plasma, geomagnetic storm

Az űridőjárás alatt a Napon és a Föld plazmakörnyezetében lejátszódó, időben változó olyan folyamatokat értjük, amelyek jelentős hatással lehetnek a földi és a Föld körül keringő technológiai rendszerekre. A napszél a Napból induló töltött részecskék áramlása, amelynek változásai közvetlenül veszélyeztethetik a műholdak és űreszközök elektronikáját. A naptevékenység bizonyos formái, mint például a napkitörések és a koronakidobódások (coronal mass ejections, CME) nagy mennyiségű energikus részecskét és plazmát lövellnek ki az űrbe. Ezek a tranziens események a földi mágneses térrel kölcsönhatva geomágneses viharokat válthatnak ki, és e viharok által indukált áramok az elektromos hálózatokban túlterhelést és áramkimaradásokat okozhatnak.

Emellett a navigációs rendszerek pontosságát is befolyásolhatják, ami kritikus problémákat okozhat a légi és tengeri közlekedésben.

A Nap mint a Naprendszerünk központi csillaga bonyolult és dinamikus rendszer. A fent említett tranziens események forrása a Nap légköre, a korona. A napkoronán belül meg tudunk különböztetni régiókat a tranziensekhez való hozzájárulás tekintetében. Általában három régiót szokás elkülöníteni: aktív régiók, koronalyukak és nyugodt napfelszín.

Az aktív régiók a Nap felszínén található komplex mágneses aktivitású területek, amelyek az extrém ultraibolya (EUV, 10–121 nm hullámhossz-tartományú) felvételeken fényes foltként látszanak. Ezek a régiók gyakran a flarek és a koronakitörések (CME) forrásai, amelyek tranziens események. Az aktív régiók pontos azonosítása és elemzése kulcsfontosságú az űridőjárási események megértésében, hiszen a CME-k képesek a legnagyobb kárral járó geomágneses viharok előidézésére. Sok esetben az aktív régiókat megfigyelve az is időben kiderül, hogy a kilövellő CME eltalálja-e a Földet, vagy sem.

A koronalyukak a Nap fotoszférájában gyökerező mágneses tölcsérek, amelyek kinyúlnak a koronáig, és a gyors napszél forrásai. Ezek a régiók az EUV-hullámhossztartomány készített felvételeken sötét foltként jelennek meg, mert környezetüknél valamivel hidegebbek. A koronalyukak méretének, alakjának és helyzetének pontos meghatározása elengedhetetlen a napszél sebességének és irányának előrejelzéséhez.

A nyugodt napfelszín azokat a területeket jelöli, amelyek nem tartoznak sem a koronalyukakhoz, sem az aktív régiókhoz. Ezek a régiók viszonylag stabilak és kevésbé aktívak. A nyugodt napfelszín területeinek elemzése segíthet megérteni a napszél általános viselkedését, sebességének és sűrűségének változásait. A 11 éves napciklus során a napaktivitási maximum időszakában az aktív régiók dominálnak, a koronalyukak kevésbé stabilak és kisebbek. Napaktivitási minimumban a koronalyukak nagyobbak és stabilabbak, az aktív régiók száma jelentősen lecsökken.

A koronalyukak fontossága miatt több eszközt is készítettek a múltban ezen régiók klasszifikációjának és felismerésének céljával. Mivel a koronalyukak jelentősen sötétebbek a környezetüknél az EUV-képeken, így pixelintenzitás alapján is el lehet azokat különíteni a többi régiótól – ekkor azonban a felvételt készítő műszer sajátosságai is képesek befolyásolni az eredményt, de például más, fényesebb régiókból származó megvilágítás is hatással lehet a klasszifikáció eredményére. Ezenkívül csatornánként (tehát hullámhosszonként) más és más eredményt kapunk, ahogy a különböző régiók fényessége változik a felvételeken. A minél pontosabb eredmények érdekében egyre szofisztikáltabb módszerek jelentek meg, és manapság már a mesterséges intelligencia (MI) is felhasználható a felvételek elemzésében. A CHRONNOS (Coronal Hole Recognition Neural Network Over multi-Spectral-data) (Jarolim et al. 2021) egy olyan eszköz, amely a koronalyukak felismerésére szolgál különböző EUV-csatornák és magnetogramok alapján. Ez az MI-t használó program 7 EUV-hullámhosszú (94 Å, 131 Å, 171 Å, 193 Å, 211 Å, 304 Å, 335 Å) felvétel és magnetogramok segítségével dönti

el egy adott pixelről, hogy koronalyukhoz tartozik-e, vagy sem. A CHRONNOS segítségével a kutatók pontosabban azonosíthatják a koronalyukakat és különösképpen azok méretét, ami hozzájárul a napszél-előrejelzési modellek pontosságának javításához. Egy másik fontos eszköz, a CATCH (Collection of Analysis Tools for Coronal Holes) (Heinemann et al. 2019), egy nyíltan elérhető SSW/IDL-csomag (az IDL programozási nyelvet használó SolarSoftWare csomagot a Napot kutató űrszondák adatainak elemzésére fejlesztették ki), amely a koronalyukak elemzésére használható programokat és ezek eredményeit tartalmazza, MI-vel támogatott és „klasszikus” programokat egyaránt.

Kutatócsoportunk a Michigani Egyetemen közös munka során létrehozott egy adatbázist, amely a Michigan Egyetemen fejlesztett Alfvén Wave Solar atmosphere Model (AWSoM) 3D magnetohidrodinamikai (MHD) szimuláció eredményeit tartalmazza a 2009 és 2020 közötti időszakban zajlott 24. és az azt követő, jelenleg is tartó 25. napciklusra vonatkozóan. Carrington-rotációnként, vagyis 27 napos időszakra futtattunk egy szimulációt, amelyből kinyerhető a napkorona állapota az EUV-felvételekhez hasonló formátumban, szintetikus képekként; valamint a Napról egy csillagászati egység távolságra, az L1 pontban (a Napot és Földet összekötő egyenesen elhelyezkedő gravitációs egyensúlyi pont) mérhető napszélparaméterek, amelyek így összehasonlíthatóak az űrszondák által mért értékekkel. Az adatbázis lehetőséget nyújt hosszabb időt felölelően elemezni a szimulációk eredménye és a valós koronafelvételek közötti különbségeket, felmérni a modell jelenlegi teljesítményét, és hogy a napciklus mely időszakaiban mennyire megbízhatóak az eredmények. Az összehasonlítás alapja az aktív régió, koronalyuk és nyugodt napfelszín területeinek aránya, amelyek lehető legpontosabb szegmentálása fontos. Ezen az összehasonlításon jelenleg is dolgozunk, most még klasszikus, később akár MI-alapú eszközökkel.

Tekintve, hogy a geomágneses viharok egyik hajtómechanizmusa a napszél paramétereinek változása, érdemes az űridőjárás előrejelzéséhez a napszelet is vizsgálni. Az ehhez szükséges modellek fejlesztése régóta kutatott terület. Az utóbbi években kezdtek megjelenni az elméleten alapuló modelleken (például MHD-modelleken) kívül mesterséges intelligenciát is felhasználó kutatások.

A napszél forrása a Nap, így logikusnak tűnhet, hogy a Napon uralkodó viszonyok alapján próbáljunk a napszélre vonatkozó előrejelzést adni. Ehhez olyan fizikai modellekre van szükség, amelyek kapcsolatot állítanak fel a Nap régiói és az ezekre jellemző fizikai viszonyok, valamint a napszél paramétereinek között. Sajnos ilyen ismereteknek még nem vagyunk birtokában, azonban a neurális hálózatokon alapuló eljárások képesek mintafelismerésre és kapcsolatok megtalálására, így felhasználhatóak ennek a problémának a statisztikus modellezésére, amelyből akár fizikai modell is kidolgozható. Erre példa az a kutatás, amely az SDO (Solar Dynamics Observatory) műhold EUV-felvételeit használja fel a napszél előrejelzéséhez (Upendran et al. 2020). A modell különböző neurális hálózatokat alkalmaz az összefüggések felismerésére, és a bemeneti napfelvételek alapján jósolja meg a földközeli mért napszélparamé-

tereket. A modell helyesen ismeri fel, hogy a gyors napszél forrásai a koronalyukak, míg a lassú napszél főleg az aktív régiókból ered, hiába nem kap erről a tanítás során konkrét információt.

A földi szélelőrejelzés területén használnak olyan neurális hálózatokat, amelyek a Föld különböző területein működő mérőállomások által mért paraméterek, valamint azok földrajzi helyzete alapján modellezik a teljes lefedettséget. Érdekes lehet ezeket a napszél előrejelzésének problémájára átültetni. Hasonló törekvéseink vannak az Űrfizikai Kutatócsoportban, ahol egy háttérnapszél-modellen dolgozunk. Ezen modell létrehozásának legfőbb nehézségei a következők. A gyors napszélesemények alulreprezentáltak az űrszondáról kapott adatokban, tehát ezek előrejelzésére külön modellt kell tanítani. A belső helioszféra lefedettsége jelenleg hiányos, és sokkal több adatot mérünk az L1 pontban, mint bárhol máshol. Ezenkívül sok adathiány terheli a méréseket, különösen néhány paraméter tekintetében, a pontos előrejelzéshez azonban minden paraméter ismeretére szükségünk van. Ezek a problémák más, az űrszondaadatok tanításra való felhasználhatóságának vizsgálatával foglalkozó tanulmányban is felbukkantak (Bouriat et al. 2022).

Érdekes továbblépési lehetőség még az úgynevezett Physics-Informed Neural Network (PINN), azaz fizikai törvényeket is implementáló neurális hálózatok alkalmazása. Kifejezetten friss eredmény, hogy egy Ohm-törvényt felhasználó modell képes a napszél pontosabb szimulációjára (Johnson et al. 2024). Az ilyen modellek felülmúlhatják a „standard” neurális hálózatokat, mivel a fizikai törvények beépítése révén pontosabb és megbízhatóbb előrejelzéseket készítenek, hiszen a modelleredmények így nem fogják megsérteni az ismert fizikai elveket.

Amikor egy tranziens esemény során kialakul a geomágneses vihar, annak erősségét többféle, úgynevezett geomágneses indexszel tudjuk jellemezni. A különböző indexek a viharesemény más és más hatását próbálják megfogni, de a legelterjedtebbek a földi mágneses tér változását jellemzik. A geomágneses indexek előrejelzése a geomágneses viharok intenzitásának és időzítésének meghatározására szolgál. Számos kutatás foglalkozott a geomágneses indexek neurális hálózatok segítségével történő előrejelzésével. Az USA Nemzeti Óceán- és Légkörkutató Hivatalának (NOAA) Űridőjárás-előrejelző Központja (SWPC) például már 2010 és 2018 között használta a Wing-modellt, amely a Kp-indexet igyekezett megjósolni neurális háló segítségével. A Kp-index a geomágneses aktivitás globális mérőszáma, amely a földi mágneses tér változásait tükrözi 0-tól 9-ig terjedő skálán, ahol a 0–5 tartomány gyakorlatilag elhanyagolható erősségű, míg a 8–9 tartomány már komoly geomágneses vihart jelez. A Wing-modell a jelenlegi Kp-index és a Föld–Nap rendszer L1 pontjában lévő űrszondák által mért napszélparaméterek alapján próbálta meg előre jelezni a Kp-indexet egy, illetve négy órával későbbre. A felhasznált napszélparaméterek magukban foglalják a napszél sebességét, sűrűségét, hőmérsékletét, nyomását, valamint a mágneses térerősséget.

Azonban a Kp diszkrét index, csak kevés értéket vehet fel. Egy másik elterjedt index, a Dst a földi mágneses tér horizontális komponensének eltérését adja meg

a nyugodt helyzethez képest (amikor nincs semmilyen esemény, és a földi felsőlégkör egyensúlyt tart a napszéllel), és négy alacsony szélességen lévő mérőállomás adataira épül. Ezen index esetén -50 nT alatti értékek számítanak geomágneses viharnak, míg -100 nT alatt már komolyabb a viharesemény. A Dst-index segítségével a viharok teljes lefolyása jobban vizsgálható. Az előrejelzések a Dst esetében is alapvetően az L1-ben mért plazmaparaméterekre épülnek, továbbá a jelenben mért Dst-indexet használják még. Azonban, mivel sokféle bemenő adat van, érdemes odafigyelni ezen adatok súlyozására megbízhatóság szerint. Például Giuseppe Pallochia és szerzőtársai (2006) rámutattak arra, hogy az L1 pont köré telepített szondák által szolgáltatott plazmaparaméter-adatok gyakran kevésbé megbízhatók előrejelzésre, mint a mágneses térerősség mérési adatai. Az űrkorszak legerősebb geomágneses vihareseménye, az úgynevezett halloweeni vihar (2003. október) alatt az L1 pontnál tartózkodó Advanced Composition Explorer (ACE) űrszonda által mért plazmaadatok megbízhatatlannak bizonyultak, míg ugyanezen szonda másik eszköze, amely a mágneses teret mérte, teljesen jól működött. Az EDDA-modell (Empirical Dst Data Algorithm), amely a mágneses térerősséget és az akkori Dst-indexet vette alapul, sokkal jobban jóslta meg a vihar lefolyását, mint a plazmaadatokat is használó modellek. Ez azt jelenti, hogy amikor súlyozzuk a bemenő adatokat, érdemes lehet kisebb súllyal venni a megbízhatatlannak ítélt plazmaparamétereket és nagyobb súllyal a többi adatforrást a lehető legmegbízhatóbb eredmény elérése érdekében.

Végül érdemes megnézni néhány kérdést, illetve kihívást a jelenlegi MI-alapú előrejelzésekkel kapcsolatban. A jelenlegi modellek rengeteg bemenő adatot használnak a pontos előrejelzések készítéséhez. Azonban fontos meghatározni, mekkora az a minimális információmennyiség, amennyi még elégséges a megbízható előrejelzéshez. A felesleges adatok eltávolítása és a releváns információk kiválasztása segíthet a modellek hatékonyságának és pontosságának javításában, így csökkentheti a szükséges informatikai kapacitást. Jelenleg az operatív előrejelzések nagy része szuperszámítógépen fut.

A különböző előrejelző rendszerek esetében fontos megtalálni az ideális kompromisszumot a sebesség és pontosság között. A gyors előrejelzések előnyösek lehetnek a valós idejű alkalmazásokhoz, de a pontosság kulcsfontosságú a megbízható eredmények eléréséhez. A modellek fejlesztése során figyelembe kell venni mindkét szempontot, hogy a legjobb eredményeket érjük el.

A modellek eredményeiből származó információkat fel lehet használni a fizikai rendszerek jobb megértéséhez is. Az űridőjárás és a napszél viselkedésének jobb megértése segíthet a geomágneses viharok pontosabb előrejelzésében, valamint az űridőjárási események káros hatásainak csökkentésében.

Összefoglalva, az MI már most is széles körben jelen van az űridőjárás vizsgálatára használt modelljeinkben, és több továbbfejlesztési lehetőségünk is van, azonban még messze vagyunk attól, hogy megbízható, néhány óránál hosszabb időre vonatkozó űridőjárás-előrejelzést tudjunk adni.

Irodalomjegyzék

- Bouriat, Simon et al. (2022). „Towards an AI-Based Understanding of the Solar Wind: A Critical Data Analysis of ACE Data”. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 9, 23 November 2022. <https://doi.org/10.3389/fspas.2022.980759>.
- Heinemann, Stephan G. et al. (2019). „Statistical Analysis and Catalog of Non-Polar Coronal Holes Covering the SDO-Era Using CATCH”. *Solar Physics*, 294, 144. <https://doi.org/10.1007/s11207-019-1539-y>.
- Jarolim, Rober et al. (2021). „Multi-Channel Coronal Hole Detection with Convolutional Neural Networks”. *Astronomy & Astrophysics*, 652/A13, 18. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202140640>.
- Johnson, Rob et al. (2024). „Combining Empirical and Physics-Based Models for Solar Wind Prediction”. *Universe*, 10, 191. <https://doi.org/10.3390/universe10050191>.
- Pallochia, Giuseppe et al. (2006). „Geomagnetic Dst Index Forecast Based on IMF Data Only”. *Annales Geophysicae*, 24, 989–999. <https://doi.org/10.5194/angeo-24-989-2006>.
- Upendran, Vishal et al. (2020). „Solar Wind Prediction Using Deep Learning”. *Space Weather*, 18. <https://doi.org/10.1029/2020SW002478>.

A termelési logisztika változásai – az Ipar 5.0 új korszaka

Changes in Production Logistics – The New Era of Industry 5.0

Nagy Gábor¹ – Szentesi Szabolcs²

¹ egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem Logisztikai Intézet, Miskolc
gabor.nagy4@uni-miskolc.hu

² egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem Logisztikai Intézet, Miskolc
szabolcs.szentesi@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

Az Ipar 5.0 elveinek vizsgálata során a cikk arra fókuszál, hogyan forradalmasítható a termelési logisztika a milkrun és a valós idejű ütemezés fogalmainak integrálásával. Célja a gyártási hatékonyság és alkalmazkodóképesség javítása a gyors testreszabáshoz igazodó vevői igények kielégítése érdekében. Az Ipar 5.0 az értékláncban átláthatóságot és integrációt teremt, hangsúlyozva a termelés és a logisztika összehangolásának fontosságát a piaci versenykörnyezetben. A tanulmány javaslatokat tesz a termelési logisztika javítására, ami jobb készletkezelést, rövidebb átfutási időket és optimalizált karbantartási költségeket eredményez. Az Ipar 5.0 zökkenőmentes integrációja a milkrun-ellátású gyártási környezet logisztikájával egy összekapcsoltabb és alkalmazkodóképesebb ellátási láncot eredményez. Az Ipar 5.0 egy olyan reagáló ipari környezetté alakítja át a termelési logisztikát, amely hatékonyan kezeli mind a megszokott, mind a dinamikus igényeket.

Abstract

In examining the principles of Industry 5.0, the article focuses on how production logistics can be revolutionized by integrating the concepts of milkrun and real-time scheduling. The aim is to improve manufacturing efficiency and adaptability to meet customer demands for rapid customization. Industry 5.0 creates transparency and integration in the value chain, highlighting the importance of aligning production and logistics in a competitive market environment. The study provides recommendations for improving production logistics, leading to better inventory management, shorter lead times, and optimized maintenance costs. The seamless integration of Industry 5.0 with milkrun-based production logistics will result in a more connected and adaptable supply chain. Industry 5.0 transforms production logistics into a responsive industrial environment that efficiently manages both routine and dynamic demands.

Kulcsszavak: Ipar 5.0, termelési logisztika, transzformációs hatás, kiber-fizikai rendszerek

Keywords: Industry 5.0, production logistics, transformative impact, cyber-physical systems

Bevezetés

Az ipar fejlődése az emberiség konstans törekvésének bizonyítéka az innováció és hatékonyság irányába. Az új korszak küszöbén állva az Ipar 5.0 megjelenése transzformáló erőként jelentkezik, készen arra, hogy átalakítsa a termelési logisztika színterét. A jelen kutatás célja az Ipar 5.0 mélyreható hatásának feltárása a termelési logisztika

vonatkozásában. Az ipari fejlődés minden egyes fázisa radikális változásokat hozott, átírva a mechanizációtól a tömegtermelésen át az automatizálásig és digitális technológiák integrációjáig terjedő történetet. Az Ipar 5.0 azonban ennél többet jelent; egy olyan paradigmaváltást hoz, amely a kiber-fizikai rendszerek, a mesterséges intelligencia (MI, Artificial Intelligence, AI) és az Internet of Things (IoT, dolgok internete) összehangolt integrációját kínálja a gyártás és logisztika területén. Ez az integráció példátlan szintű kapcsolódást, intelligenciát és alkalmazkodóképességet ígér az iparban. Az Ipar 5.0 egy olyan világot jelent, ahol az ember és a gép közötti szimbiotikus kapcsolatok elősegítik az ipari környezet reagálóképességét és összekapcsoltságát. A kutatás célja, hogy feltárja az Ipar 5.0 technológiai forradalmának komplexitását. Az alapelvek elemzése, a valós megvalósítások vizsgálata és a felkínált kihívások és lehetőségek megértése révén a kutatás kiterjedt útmutatást nyújt a vállalkozásoknak, döntéshozóknak és kutatóknak az Ipar 5.0 által kínált lehetőségek hasznosításához. Az Ipar 5.0-ba való átmenet nem csupán technológiai, hanem kulturális és működési változást is jelent, amely alapvetően formálja újra a termelési logisztika felfogását és gyakorlatát. Ezen kutatás célja, hogy értékes betekintéseket nyújtson az Ipar 5.0 lehetőségeibe, elősegítve az innováció és hatékonyság globális összekapcsolódását. Az Ipar 5.0 átalakító hatásának kibontakoztatásával együtt térképezzük fel az utat egy olyan jövőbe, ahol az innováció és hatékonyság egységesen fonódik össze az iparban.

Irodalmi áttekintés

Az Ipar 5.0, az ipari fejlődés következő fázisa, az emberi kreativitást és intuíciót ötvözi a fejlett gépekkel és technológiákkal, biztosítva egy fenntarthatóbb, rugalmasabb és társadalmilag felelősségteljesebb gyártási környezetet (Wolniak 2023). Ez a keretrendszer rugalmassággal, fenntarthatósággal és emberközpontúsággal jellemezhető, és a közös munkavégzésre, koordinációra, kommunikációra, automatizálásra, adatelemzés-feldolgozásra és -azonosításra épül (Ivanov 2022). A humán kompetencia kreativitásának kihasználását várhatóan hatékony, intelligens és pontos gépekkel összekapcsolva olyan technológiák támogatják, mint a peremhálózat, a digitális iker, az együttműködő robotok, a dolgok internete, a blokklánc (blockchain), valamint az 5G-hálózatok (Maddikunta et al. 2022). Az Ipar 5.0 lehetővé teszi az ember és robot közös munkavégzését, növeli a folyamatok hatékonyságát, valamint tömeges személyre szabást és intelligens adatfelhasználást alkalmazva növeli a vevői elégedettséget (Tiwari et al. 2022).

Az Ipar 4.0 hatását vizsgáló meglévő irodalmakra építve a jelenlegi fejlődési tendencia ígéretes pályát állít az Ipar 5.0 felé való fejlődés irányába. Orestis K. Efthymiou és Stavros T. Ponis (2021), valamint Nagy Gábor, Illés Béla és Bányai Ágota (2018) rávilágítottak az Ipar 4.0 technológiák átalakító potenciáljára, hangsúlyozva a termelési logisztika átláthatóságának, integrációjának és valós idejű ütemezésének javulását. Ez egybecseng azzal, amit Malte Brettel és szerzőtársai (2014), Hajar Fatorachian és Hadi Kazemi (2020) állítanak az Ipar 4.0 pozitív hatásairól az átfogó ellátási lánc teljesít-

ményére vonatkozóan. Ezzel párhuzamosan Sun (Sun et al. 2021) az Ipar 4.0 technológiák gazdasági hatékonyságáról, környezeti teljesítményéről és társadalmi hatásairól, különösen a fenntartható logisztika szempontjából tett megállapításokat. Luis Barreto, António Amaral és Teresa Pereira (2017) kiemelik az ellátási lánc átláthatósági és integritási ellenőrzésének fontosságát. Az irodalmi áttekintés rámutat a kihívások jelenlétére is, melyet Maryam Abdirad és Krishna Krishnan (2020) is hangsúlyoz, akik további vizsgálatokra hívják fel a figyelmet az Ipar 4.0 szerepével kapcsolatban a gyártási logisztika kontextusában. Bár az irodalom átfogóan mutatja be az Ipar 4.0 által nyújtott potenciális előnyöket, ideértve az átláthatóság, integráció és fenntarthatóság javulását a termelési logisztikában, ugyanakkor elismeri a fenntarthatósági mutatók közötti kompromisszumokat és a technológia érettségének kérdéseit.

Ipari technológiai háttér és az Ipar 5.0 jellemzői

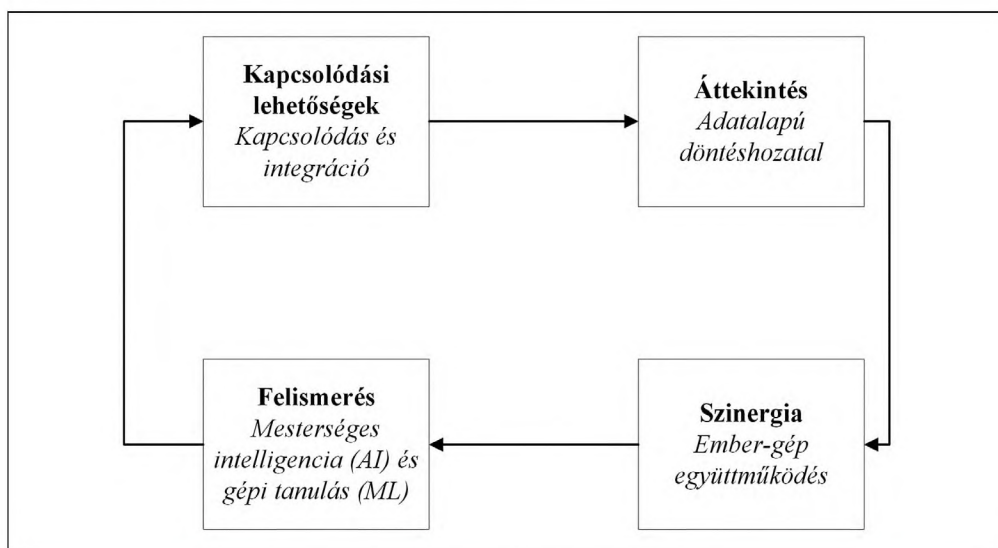
Az Ipar 4.0, azaz a negyedik ipari forradalom, az Internet of Things (IoT), a kiberfizikai rendszer (CPS), az információ- és kommunikációs technológia, valamint a vállalati integráció különféle technológiáinak integrációjával jellemezhető (Lu 2017). Ez az integráció az Ipar 4.0 megjelenéséhez vezetett, amely a virtualizáció, a decentralizáció és a hálózatépítés révén alakítja át a gyártást (Brettel et al. 2014). Az Ipar 4.0 koncepciója még mindig vízió, de magában foglalja az emberek integrálását a gyártási folyamatba, a folyamatos fejlesztést és az értékteremtő tevékenységeket (Vaidya–Ambad–Bhosle 2018). A technológiai eszközök hiánya jelentős akadályt jelent az Ipar 4.0 potenciáljának teljes kiaknázásában (Da Xu–Xu–Li 2018).

Ezek az eredmények szolgáltatják a technológiai háttérrel és az Ipar 4.0 jellemzőit, amelyek alapot képezhetnek az Ipar 5.0 lehetséges fejlesztéseinek és kihívásainak megértéséhez. Az Ipar 5.0 az ipari fejlődés legmagasabb pontja, amely jelentős változást hoz, és a hagyományos gyártási folyamatokat *high-tech* technológiák újraértelmezésével határozza meg (Ghobakhloo et al. 2023). Bár az Ipar 5.0 konkrét definíciói változhatnak, van egy általános víziója ennek az új ipari fejlesztési korszaknak, amely nagy hangsúlyt fektet az ember–gép együttműködésre, testreszabásra és fenntarthatóságra (Borchardt et al. 2022).

Az Ipar 5.0 alapvetően egy előretekinthető paradigmaváltást jelent, amely egy olyan jövőt képzel el, ahol a technológiai fejlődés meghaladja az egyszerű automatizációt és a hatékonysági előnyöket. Ez a szakasz a fejlett technológiák képességeinek tudatos egyesítését jelenti az emberi munkavállalók egyedi erősségeivel és kreativitásával. Nemcsak a folyamatokat igyekszik optimalizálni, hanem együttműködésre ösztönözve az emberek szerepét is hangsúlyozza a gyártási folyamatban, kihasználva mind a technológiai precizitást, mind az emberi kreativitást. Az Ipar 5.0 víziójában a testreszabás kiemelt pillérként jelenik meg. Ennek a korszaknak az ipari folyamatai nagymértékben alkalmazkodóak, lehetővé téve a diverzifikált és folyton változó vevői igények kielégítését. A testreszabás hangsúlya nemcsak a végső termékekre, hanem magukra a gyártási folyamatokra is kiterjed, elősegítve a rugalmasságot és reagálóké-

pességet a dinamikus piaci feltételekkel szemben. A fenntarthatóság az Ipar 5.0 másik alapvető eleme, amely jelentős változást mutat egy környezetbarát és erőforrásokat hatékonyan felhasználó gyakorlat felé (Žižić–Mladineo–Gjeldum 2022).

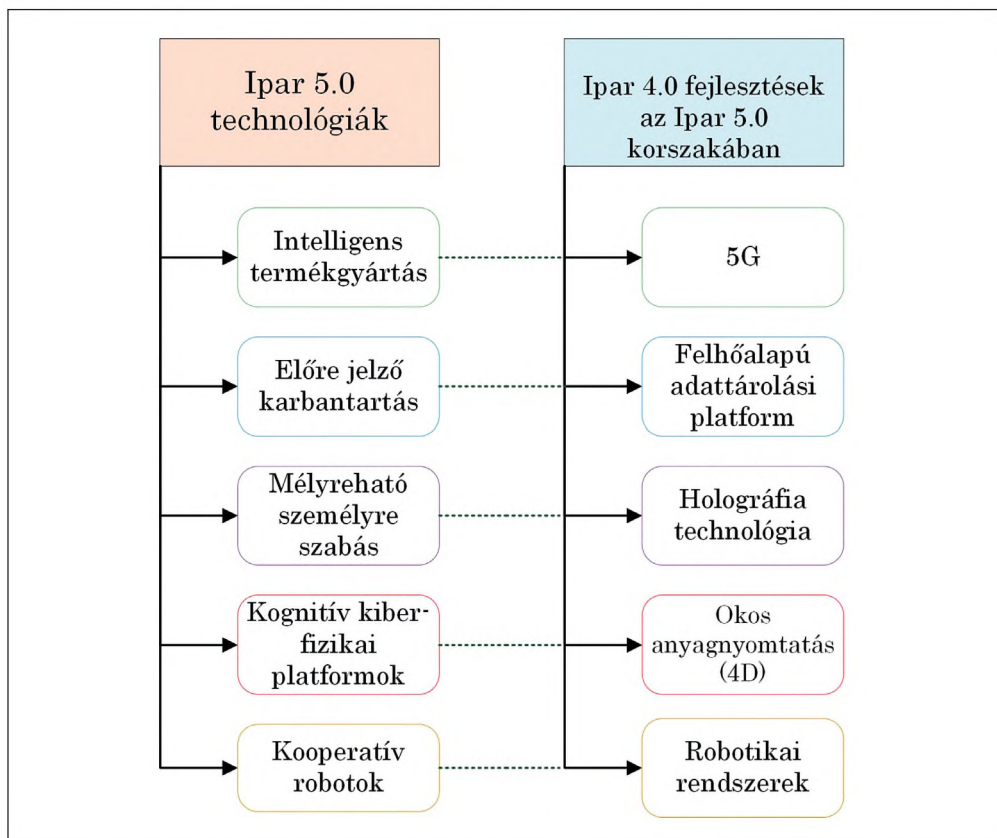
Ez a szakasz felismeri a felelős iparosítás fontosságát, amelyben a technológiai innovációkat arra használják, hogy minimalizálják a környezeti hatásokat, csökkentsék a hulladék mennyiségét, és optimalizálják az erőforrás-felhasználást. Az Ipar 5.0 egy olyan gyártási környezetet képzel el, amely összhangban működik a környezettel, elismerve a fenntartható gyakorlatok fontosságát mind az ipar, mind a bolygó hosszú távú egészségének szempontjából (1. ábra).



1. ábra. Az Ipar 5.0 négy jellemzője
Forrás: saját szerkesztés Wolniak 2023 alapján

Lényegében az Ipar 5.0 egy holisztikus megközelítést jelent az ipari fejlődés terén, ahol az előrehaladott technológiák, az emberi találmányosság, a testreszabás és a fenntarthatóság szintézise egy olyan jövőt formál, ahol az iparágak nemcsak hatékonyabbak, hanem emberibbek, reagálóbba és környezettudatosabbak is (2. ábra). A vízió azt sugallja, hogy az iparágaknak el kell fogadniuk ezt a változást, amelynek során az emberi és gépi képességek egyesítése elősegíti az innovációt és a társadalmi előnyöket. A koncepció kulcsfontosságú szempontjai a 2. ábrán mutatjuk be.

Fontos hangsúlyozni, hogy az Ipar 5.0 fogalma folyamatosan alakul, és változhatnak a jellemzői, definíciói. A kutatók, az iparágak és a szakértők, ahogy haladnak előre a technológia és az ipari gyakorlatok, továbbra is vizsgálják és finomítják ezt a koncepciót. Bár az Ipar 4.0 és 5.0 összehasonlítása releváns, nem mindig állnak rendelkezésre egyértelmű és közvetlen összehasonlításra alkalmas adatok. Ezek az ipari paradigmák jellegükből adódóan általános információkat és trendeket tükröznek.



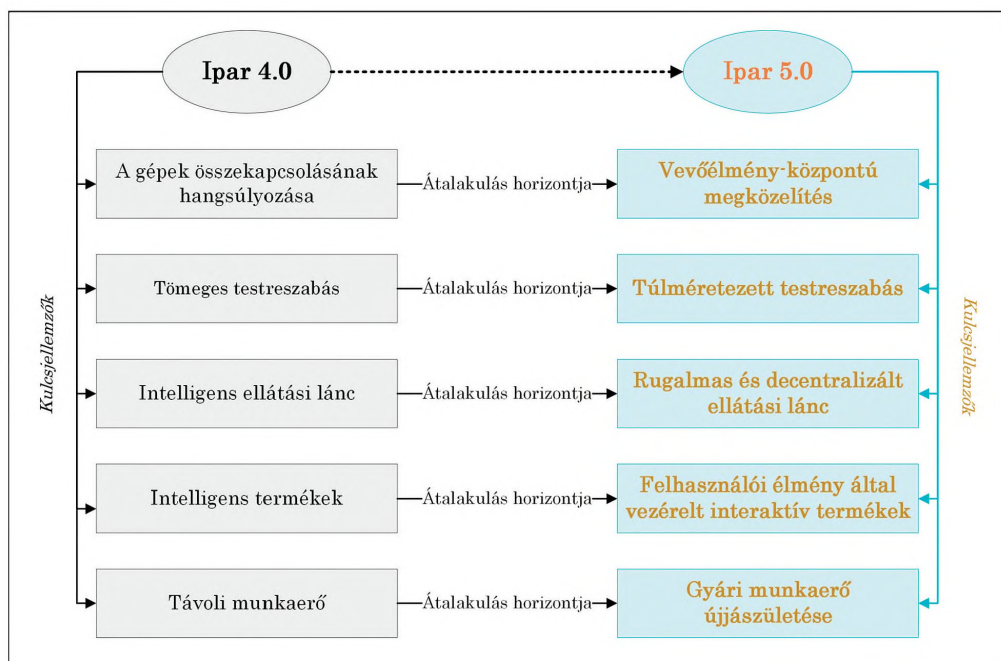
2. ábra. Áttekintés az Ipar 5.0 technológiai innovációiról és az Ipar 4.0 fejlesztéseiről
 Forrás: saját szerkesztés, Wolniak 2023 alapján

Ipar 4.0 és Ipar 5.0 közötti különbség a termelési logisztikában

Az átmenet az Ipar 4.0-ról az Ipar 5.0-ra mély paradigmaváltást jelent az ipari rendszerek fejlődésében, különösen a termelési logisztika területén (3. ábra) (Geng–Varshney 2022; Slavić 2023). Míg az Ipar 4.0 az ipari folyamatokba való digitális technológiák integrálásának alapjait fektette le, az Ipar 5.0 ezeket az integrációkat egy eddig példa nélküli szintre emeli (Slavić 2023; Jefroy–Azarian–Yu 2022).

Az Ipar 5.0 fókuszja az ember–gép együttműködés hangsúlyozásában és a termelési folyamatok holisztikusabb megközelítésében rejlik. Az ipari folyamatok dinamikus környezetében a termelési logisztika kulcsfontosságú szerepet játszik az Ipar 5.0 elveivel való összekapcsolódásban. Ennek a két elemnek a szinergiája alapvető fontosságú a gyártás jövőjének átalakításában. Az Ipar 5.0 az ipari fejlődés csúcsát képviselve az emberközpontú megközelítést hangsúlyozza, amely az emberi szaktudás és a techno-

lógiai precizitás közötti együttműködést helyezi előtérbe. A testreszabás, fenntarthatóság és az előrehaladott technológiák zökkenőmentes integrációjának hangsúlyozása tovább erősíti ennek jelentőségét (Jefroy–Azarian–Yu 2022). A termelési logisztika, az Ipar 5.0 elveivel összhangban, lényeges szerepet tölt be ezeknek a céloknak a megvalósításában.



3. ábra. Az Ipar 5.0 kulcsfontosságú jellemzői az Ipar 4.0-hoz viszonyítva

Forrás: saját szerkesztés Geng–Varshney 2022 és Slavić 2023 alapján

Termelési logisztikai megoldások az Ipar 5.0 elvei alapján

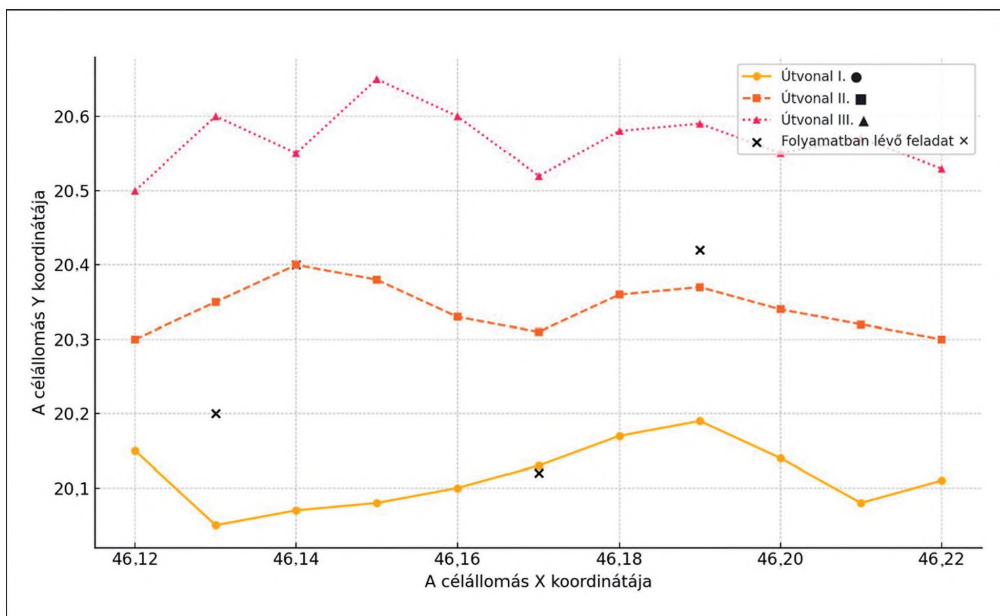
Az Ipar 5.0 eljövetele átalakító paradigmaváltást hozott a termelési logisztikában, ami jelentős hatással van a gyártási folyamatok teljesítményére. Az egyik fő hajtóereje ennek a változásnak az az elvárás, hogy a gyorsan változó és személyre szabott ügyféligényeket kielégítsék. Ahhoz, hogy megfeleljenek ezeknek az elvárásoknak, a gyártási folyamatok az okosgyárakban (smart factory) alkalmazkodóbbá, dinamikusabbá és hatékonyabbá válnak, miközben minimalizálják a nagy késztermékek szükségességét. Az Ipar 5.0 keretrendszerében az autógyártásban és a mechatronikai összeszerelő iparban egyre népszerűbbé váló új megközelítés a „milkrun” koncepció integrációja. A milkrun egy logisztikai módszer, amelyben egyetlen jármű több gyártóállomást látogat meg, hogy anyagokat szállítson, csökkentve ezzel a felesleges szállításokat és készletezést. Ebben a kontextusban a milkrun koncepció

nemcsak az anyagellátás hagyományos szerepét tölti be, hanem a valós idejű információk áramlásának zavartalan integrációját is biztosítja.

Az Ipar 5.0, elődeivel ellentétben, nemcsak az anyagáramlás fizikai aspektusaira összpontosít, hanem jelentős hangsúlyt fektet az intelligens információcsere megvalósítására a gyártási ökoszisztéma egészében. Bár a milkrunok tervezésére vonatkozó meglévő irodalom megalapozott módszereket kínál, az Ipar 5.0 új dimenziót nyit a valós idejű ütemezési kihívások kezelésével. A kihívás abban rejlik, hogy az új szolgáltatási feladatokat dinamikusan ütemezik, miközben a már meglévő statikus szolgáltatási feladatokat optimalizálják. A valós idejű ütemezés azt jelenti, hogy a karbantartási feladatokat adott időszavokhoz rendelik a milkrunokban, miközben figyelembe veszik ezeknek a dinamikus gyártócelláknak a kapacitáskorlátaikat. A dinamikus jellegű karbantartási feladatok tervezése az Ipar 5.0 keretrendszerében összetett optimalizálási problémát jelent, amelyet gyakran NP-teljesnek – azaz olyan nehéz számítási problémának – kategorizálnak, amelyre jelenleg nem ismert hatékony megoldási módszer, és a megoldások ellenőrzése is jelentős számítási erőforrást igényel. Ez a bonyolultság abból adódik, hogy az egyesítési és ütemezési megoldások integrálására kell összpontosítani, hogy átfogó gyártási célokat érjenek el. A milkrun általában egy raktárból vagy szupermarketből indul, és az optimalizálási feladat egy összetett költségfüggvény megfogalmazását jelenti. A függvény a különböző tevékenységek költségeit tartalmazza: előre ütemezett szállítás dinamikus igényrendelés nélkül, milkrun szállítás és betöltés a szupermarketbe és a végpontokra, valamint a dinamikus igények szállítási és betöltési költségei. Az Ipar 5.0 keretrendszerében való optimalizálás két kulcsfontosságú területen korlátozódik: a milkrunok kapacitásának korlátaira és a meghatározott szolgáltatási időszavokra vonatkozó specifikációkra. Ezeknek a korlátozásoknak a csökkentésére heurisztikus algoritmusok alkalmazása szükséges, hogy elfogadható megoldásokat találjunk erre az összetett problémára. Ennek az optimalizálási erőfeszítésnek az eredménye egy megbízható, rugalmas és rendkívül elérhető rendszer kialakítása.

Az átfogó cél az anyagkezelési feladatokkal járó költségek minimalizálása az Ipar 5.0 által hirdetett hatékonysági elvekkel összhangban. Összefoglalva, az Ipar 5.0 hatása a termelési logisztikára az információs és fizikai aspektusok holisztikus integrációját jelenti az okosgyárakban. Az előrehaladott koncepciók alkalmazása, mint például a milkrun, együtt a valós idejű ütemezéssel és optimalizálással, egy adaptívabb és reaktívabb gyártási ökoszisztémát eredményez, amely hatékonyan elégíti ki a piaci igényeket.

Három elérhető milkrunjárat és két dinamikus igény kontextusában vizsgáljuk meg az ütemezési folyamat részleteit. Az első dinamikus igény esetében úgy tűnik, hogy létezik egy egyszerű megoldás, anélkül, hogy szükség lenne az ellátás igényének a legközelebbi szolgáltatási ponttól való eltávolítására vagy elmozdítására. Ez arra utal, hogy a jelenlegi elrendezés hatékonyan elégíti ki az első dinamikus igényt. Az ütemezési keret valószínűleg lehetővé teszi ennek az igénynek a zökkenőmentes integrálását, anélkül, hogy befolyásolná a szolgáltatási pontok közelségét.



4. ábra. Milkrun-alapú szolgáltatási feladatok dinamikus környezetben történő ütemezésének optimalizálása
Forrás: Saját szerkesztés

Ellentétben az elsővel, a második dinamikus igény ütemezése bonyolultabb helyzetet mutat. A milkrun kapacitásának fenntartása és a szolgáltatási időablakok limitjének betartása érdekében módosításokra volt szükség. Főként a szolgáltatási feladatok elhagyási pontja volt érintett, és azt kellett módosítani. Ez a stratégiai változtatás alapvető fontosságú volt annak biztosítására, hogy a milkrun kapacitása ne legyen túllépve, és a szolgáltatási időablakok be legyenek tartva. Ennek az ütemezési döntésnek komoly következményei vannak. A második dinamikus igényt csak egy meghatározott kiszállítási ponton lehetett kibocsátani, és az összes további kiszállítási pontot ennek megfelelően kellett beállítani. Ez a módosítás a kiszállítási időben jelentős tartalékokat teremtett, biztosítva, hogy a dinamikus igények teljesítéséhez szükséges anyagkezelési műveleteket korlátozások nélkül lehessen végrehajtani. Lényegében, az ütemezési bonyolultságok rávilágítanak a milkrun logisztikájának dinamikus jellegére a valós idejű igényekre adott válaszként. Az igényekhez való alkalmazkodás szükségessége aláhúzza mind a szállítási kapacitás, mind az időablakok hatékony optimalizálásának fontosságát a dinamikus igények hatékony kezelése érdekében.

Ezek az üzemeltetési részletek megmutatják azokat a kihívásokat és stratégiai döntéshozatali folyamatokat, amelyek hatékonyan építik be a dinamikus igényeket a meglévő milkrun keretrendszerbe. A milkrun logisztika dinamikus jellegére és az ütemezési dinamikus igények kezelésével kapcsolatos kihívásokra építve az Ipar 5.0 elveinek alkalmazása innovatív megoldásokat kínál a termelési logisztika területén.

Az Ipar 5.0 elveihez kapcsolódó kulcsfontosságú megoldások, amelyek megoldják a milkrun logisztikai ütemezési kihívásokat:

- Integrált kiber-fizikai rendszerek (CPS)
 - Megoldás: az integrált CPS bevezetése lehetővé teszi a valós idejű kommunikációt és koordinációt a fizikai komponensek és a digitális rendszerek között a termelési logisztikában.
 - Előnyök: ez a megközelítés növeli a milkrun logisztikai rendszer láthatóságát, átláthatóságát és reagálóképességét a gépek, termékek és rendszerek közötti adatok zökkenőmentes áramlásán keresztül.
- IoT-alapú eszközkövetés
 - Megoldás: az IoT-eszközök alkalmazása lehetővé teszi a szállításban lévő áruk valós idejű helyének és állapotának nyomon követését és monitorozását.
 - Előnyök: ez a megoldás összhangban áll az ütemezési igényekkel, javítva az áruk kezelését, csökkentve a szállítási időket és biztosítva a kibővített ellátási lánc láthatóságát, ami hozzájárul a jobb döntéshozatalhoz.
- Előre jelző analitika a karbantartáshoz
 - Megoldás: az előre jelző analitikai algoritmusok alkalmazása segít az eszközhibák előrejelzésében és a proaktív karbantartási tevékenységek ütemezésében.
 - Előnyök: a milkrun logisztika kontextusában ez a megoldás minimalizálja a leállásokat, meghosszabbítja a gépek élettartamát, és optimalizálja a karbantartási költségeket, biztosítva a dinamikus igények hatékony végrehajtását.
- Rugalmas és autonóm gyártócellák
 - Megoldás: a moduláris és autonóm gyártócellák bevezetése összhangban van a kapacitás dinamikus igényeknek megfelelő dinamikus beállításával.
 - Előnyök: ez a megoldás növeli a termelési rugalmasságot a milkrun kontextusában, lehetővé téve a gyártási folyamatok hatékony átalakítását a kereslet változásainak és a dinamikus igények beépítésének megfelelően.

Összefoglalás

Az Ipar 5.0 elveinek integrálása forradalmi változást hoz a termelési logisztikában, elősegítve az egyedülálló hatékonyságot, alkalmazkodóképességet és együttműködést. Ezek az elvek, összhangban a modern ipar változó követelményeivel, új megoldásokat kínálnak a beszállítói lánc kihívásaira. Az integrált rendszerek, az IoT-eszközök és a prediktív karbantartás növelik az átláthatóságot, és lehetővé teszik a proaktív erőforrás-kezelést. A rugalmas gyártócellák, a robotika és a blokklánc-integráció biztonságos és dinamikus termelési környezetet teremtenek. Az adatmegosztás, az MI és az intelligens gyártósorok optimalizálják a döntéshozatalt, hogy a logisztika a valós igényekre reagáljon. Az energiahatékonyság és a fenntarthatóság iránti elkötelezettség a társadalmilag és környezetileg felelős gyártáshoz vezet.

Az Ipar 5.0 elvei új útmutatást kínálnak a gyártási logisztika számára, elősegítve a nagyobb üzleti sikerességet és ügyfél-elégedettséget. A vállalkozások, amelyek átvesszik ezeket az elveket, sikeresen alkalmazkodhatnak az ipar változó kihívásaihoz, és vezető szerepet játszhatnak az új technológiai korszakban.

Irodalomjegyzék

- Abdirad, Maryam – Krishnan, Krishna (2020). „Industry 4.0 in Logistics and Supply Chain Management: A Systematic Literature Review”. *Engineering Management Journal*, 33/3, 187–201. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1783935>.
- Barreto, Luís – Amaral, António – Pereira, Teresa (2017). „Industry 4.0 Implications in Logistics: An Overview”. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>.
- Borchardt, Miriam et al. (2022). „Industry 5.0 Beyond Technology: An Analysis Through the Lens of Business and Operations Management Literature”. *Organizacija*, 55/2, 305–321. <https://doi.org/10.2478/orga-2022-0020>.
- Brettel, Malte et al. (2014). „How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective”. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8/1, 37–44. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1336426>.
- Da Xu, Li – Xu, Eric L. – Li, Ling (2018). „Industry 4.0: State of the Art and Future Trends”. *International Journal of Production Research*, 56/8, 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>.
- Efthymiou, Orestis K. – Ponis, Stavros T. (2021). „Industry 4.0 Technologies and Their Impact in Contemporary Logistics: A Systematic Literature Review”. *Sustainability*, 13/21, 11643.
- Fatorachian, Hajar – Kazemi, Hadi (2020). „Impact of Industry 4.0 on Supply Chain Performance”. *Production Planning & Control*, 32/1, 63–81. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1712487>.
- Geng, Baocheng – Varshney, Pramod K. (2022). „Human-Machine Collaboration for Smart Decision Making: Current Trends and Future Opportunities”. In: *International Conference on Communications in Computing*. <https://doi.org/10.1109/cic56439.2022.00019>.
- Ghobakhloo, Morteza et al. (2023). „Behind the Definition of Industry 5.0: A Systematic Review of Technologies, Principles, Components, and Values”. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 40/6, 432–447. <https://doi.org/10.1080/21681015.2023.2216701>.
- Ivanov, Dmitry (2022). „The Industry 5.0 Framework: Viability-Based Integration of the Resilience, Sustainability, and Human-Centricity Perspectives”. *International Journal of Production Research*, 61/5, 1683–1695. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2118892>.
- Jefroy, Niloofar – Azarian, Mathew – Yu, Hao (2022). „Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics?”. *Logistics*, 6/2, 26. <https://doi.org/10.3390/logistics6020026>.
- Lu, Yang (2017). „Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues”. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>.
- Maddikunta, Praveen Kumar Reddy et al. (2022). „Industry 5.0: A Survey on Enabling Technologies and Potential Applications”. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>.
- Nagy, Gábor – Illés, Béla – Bányai, Ágota (2018). „Impact of Industry 4.0 on Production Logistics”. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 448, 012013. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/448/1/012013>.
- Slavić, Dragana (2023). „The Main Concepts of Industry 5.0: A Bibliometric Analysis Approach”. *22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, 15–17 March 2023. <https://doi.org/10.1109/infoteh57020.2023.10094143>.
- Sun, Y. et al. (2021). „Sustainable Performance Evaluation of Industry 4.0 Technologies in Logistics”. *Journal of Cleaner Production*, 300, 126950. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126950>.

- Tiwari, Saurabh – Bahuguna, Prakash Chandra – Walker, Jason (2022). „Industry 5.0”. In: Garg, Vikas – Goel, Richa, szerk. *Handbook of Research on Innovative Management Using AI in Industry 5.0*. Hershey, PA: Business Science Reference, 59–73. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8497-2.ch004>.
- Vaidya, Saurabh – Ambad, Prashant M. – Bhosle, Santosh (2018). „Industry 4.0 – A Glimpse”. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>.
- Wolniak, Radosław (2023). „Industry 5.0 – Characteristic, Main Principles, Advantages and Disadvantages”. *Zeszyty Naukowe*, 170, 663–678. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2023.170.40>.
- Žižić, Marina Crnjac et al. (2022). „From Industry 4.0 Towards Industry 5.0: A Review and Analysis of Paradigm Shift for the People”. *Energies*, 15/14, 5221. <https://doi.org/10.3390/en15145221>.

Időtálló felismerésekről a Debreceni Gyermekklinika százéves jubileuma alkalmából

Time-Proven Recognitions on the Centenary of the University of Debrecen Pediatric Clinic

Péter Ferenc

az MTA doktora, Dr. Med.
ferenc.dr.peter@gmail.com

Összefoglalás

2024 novemberében volt száz éve annak, hogy felavatták a Debreceni Gyermekklinikát. Az írás a jubileum alkalmából az Intézet egyik virágzó időszakára (1949–1972) emlékezve tiszteleg néhány ott született, időtálló eredmény összefoglalásával. Ezekben az évtizedekben fejlődött ki Kulin Lászlónak, a Kossuth-díjas gyermekgyógyásznak a súlyosan sorvadtt csecsemők megmentését, gyógyítását eredményező különleges klímaterápiája (29 °C és 70% relatív páratartalmú környezet). A pajzsmirigyműködés vizsgálatakor kiderült, hogy sorvadtt csecsemőkben az emelt környezeti hőmérséklet és páratartalom a pajzsmirigy-aktivitás növelését, javulását, egészséges csecsemőkben annak csökkentését eredményezi. Utóbbi élettani alapismeretté vált. A radiojód használata a csecsemők vizsgáló eljárása során akkor került először hazai alkalmazásra. A Kelet-Magyarországon tapasztalt jelentős újszülött- és gyermekkori golyvagyakoriság miatt elindult a gyermekek jódeellátottságának regionális, illetve országos követése. Egy tanulmányúthoz kapcsolódóan a Debreceni Gyermekklinikán kezdődött el az alacsony gyermekek hazai folyamatos növekedési hormon-kezelése. Innen indult a később sikeresen megvalósított országos újszülöttkori TSH-szűrés gondolata is.

Abstract

November 2024 marked the centenary of the opening of the University of Debrecen Pediatric Clinic. To mark the anniversary, this article pays tribute to one of the institute's most prosperous periods (1949–1972), summarizing some of its enduring achievements. During this period, László Kulin—a Kossuth Prize-winning pediatrician—developed his special air conditioning therapy (29 °C and 70% relative humidity), which resulted in the rescue and cure of infants with severe malnutrition. Studies of thyroid function found that high ambient temperature and humidity resulted in improved thyroid activity in growth hormone deficient infants, and decreased thyroid activity in healthy ones. The latter finding became basic physiological knowledge. Radioiodine test for infants was also first introduced during this period. Due to the high incidence of neonatal and childhood goitre in eastern Hungary, regional and national monitoring of children's iodine intake was initiated. As a result of a study tour, continuous growth hormone treatment for growth hormone deficient children began at the University of Debrecen Pediatric Clinic. It was also here that the idea for the successful nationwide neonatal TSH screening programme originated.

Kulcsszavak: sorvadtt csecsemők klímakezelése, radiojód-vizsgálat csecsemőkorban, gyermekek jódeellátottsága, gyermekkori növekedési hormon-kezelés, újszülöttkori TSH-szűrés

Keywords: air conditioning therapy of growth hormone deficient infants, radioiodine diagnostics in infants, iodine supply of children, growth hormone therapy for children, neonatal TSH screening

2024. november 6-án volt százéves a klinikusi alma materem, a Debreceni Gyermekklinika. Sok kollégámhoz hasonlóan szívesen emlékezem az ott töltött másfél évtizedre (1959–1973). Kilencvenévesen visszatekintve hálásan gondolok életem azon szakaszára, a fiatalon kapott lehetőségekre. Az ott végzett munkánk néhány eredménye több évtized távlatából is értékállónak bizonyult. Ezek rövid összefoglalásával tisztelgek egykori kitűnő iskolám előtt jubileuma alkalmából.

Kulin László-tanítványnak vallom magam. Róla elmondható, hogy szinte a Gyermekklinika indulásától ott dolgozott (1925-től). A második világháborút is felölő tíz évben (1939–1949) a helyi Állami Gyermekmenhelyet vezette ugyan, de annak befejeződése után pár évvel kinevezték a Debreceni Gyermekklinika igazgatójává, amelyet csaknem negyedszázadon át irányított (1949–1972). Akkoriban a hazai magas csecsemőhalálozás egyik fő tétele a csecsemőkori sorvadás (atrófia) volt. A tanzévezetői feladatokat megkapva tudományos érdeklődésével e témakör felé fordult. A megoldást jelentő felismeréséhez az első impulzust

„azon számításai és megfigyelései szolgáltatták, melyek során bizonyítást nyert, hogy a leromlott testtömegű, viszonylag nagy testfelületű sorvadt számára pathológiás testfelépítése folytán a szokványos 22 C° körüli környezeti hőmérséklet inadequat hideg környezet. [...] A peripheriás hővédelem csődjé következtében a szabad bőrterületekről és a légzőfelületről a hőleadás olyan mérvű, hogy az [...] energiadeficitet [hagyományos eljárás nem képes megszüntetni]. A súlyos atrophias nem épít be, mert az anyagcsere intenzitása [jelentősen elmarad] a hossz-társétól, [...] fiziologiás testhőmérsékletének megőrzése végett kénytelen túl nagy mértékben lebontani. [...] Betegágy mellett sorozatosan megfigyelte, hogy a 22 C° körüli szobahőmérsékleten súlyában és fejlődésében [...] stagnáló sorvadt a 29 C°-ú, 70% relatív páratartalmú környezetben [...] testgyarapodásra és gyógyulásra képes.” (Kulin 1970)

A gyógyeredményeket látva 1953-ban – az orvosok közül elsők között – Kossuthdíjban részesült. Közvetlen irányításával olyan bokszosított „klímaosztályt” építtetett ki (külön gépházzal) a koraszülöttek és sorvadt csecsemők számára, ahol állandóan kontrolláltan 28–30 °C meleg és 60–70% relatív páratartalom volt biztosítható.

Első beosztásomat (1959) az akkor hipermodernnek tekintett klímaosztályra kaptam. Erre azért került sor, mert a professzor koncepcióját a sorvadt csecsemők alapanyagcseréjének követéses vizsgálatával alátámasztották ugyan (Kövér–Kiss Szabó 1957), de a felismerést és eredményeket bemutató akadémiai doktori értekezést azzal utasították vissza, hogy hiányzik a pajzsmirigy-aktivitás alakulásának demonstrálása. Engem azért hívott meg Kulin professzor, mert a Gyermekklinikára került jó barátom, korábbi évfolyam- és csoporttársam, Kappelmayer János, ismerte valós érdeklődésemet (gyermekgyógyászat) és akkori tevékenységemet (golyvakeltők tanulmányozása korszerű izotópos módszerekkel állatkísérletben), és ezekről tájékoztatta.

Huszonöt évesen álopszerű volt a feladat: újszerű vizsgáló eljárás kidolgozása és alkalmazása különleges feltételek között (magas hőmérséklet és páratartalom hatása ép és gyógyulóban lévő beteg csecsemők pajzsmirigy-háztartásának alakulására). A nyugati irodalomban akkoriban már megjelentek a csecsemő- és gyermekgyógyászatban a radiojóddal végzett diagnosztikus vizsgálatok. Az MTA helyi Atommagkutató Intézetének Biológiai Laboratóriumában ilyen vizsgálatokhoz optimális feltételeket találtam (a laborvezető Kertész László volt). Együttműködésben elvégzett tanulmányunk mérési eredményei megerősítették Kulin professzor feltételezésének helyességét és az anyagcserevizsgálatokat; így professzorunk megvédhette akadémiai doktori értekezését (Kulin 1962). A sorvadt és ép (kontroll) csecsemők pajzsmirigy-aktivitása ellentétesen viselkedett. A klímamilió hatására a sorvadtaké – általános állapotuk javulásával párhuzamosan – a csökkent mértékűből fokozódott, amint azt a professzor feltételezte.

A munkának két jelentős mellékterméke is lett. Az egészséges (kontroll) csecsemők pajzsmirigyműködése magas környezeti hőmérséklet hatására a normális tartományból szignifikánsan csökkent (Péter–Kertész–Szerdahelyi 1963). Ez a megfigyelés a jóval későbbi élettani alapismeret első leírása (magas környezeti hőmérséklet esetén csökken az egészséges pajzsmirigy aktivitása) a Debreceni Gyermekklinikáról származik. Másrészt, ebben a tanulmányban történt (a Debreceni Gyermekklinika és az MTA Atommagkutató Intézet együttműködésében) az első hazai csecsemő- és gyermekkori diagnosztikus radiojód-alkalmazás (Péter–Kertész–Szerdahelyi 1961). Egyébként az első hazai gyermekgyógyászati izotóplaboratórium is a Debreceni Gyermekklinikán létesült 1965-ben, jelezve a vezetés korszerűsége törekvő szemléletét.

Az 1960-as években a hazai klinikákon még nem volt általános a járóbeteg-szakrendelések működése. A Debreceni Gyermekklinikán 1964-ben heti egy délelőtti endokrin szakrendelés indult. Az első évben feltűnt, hogy a beküldött gyermekek között gyakori a strúma. Professzorunk engedélyével megszerveztük, hogy a legérzékenyebb községekben iskolai golyvaszűrő vizsgálatokat végezhessünk. Néhány szabolcsi faluban az iskolás gyermekek közel 80%-ánál észleltünk golyvát, Hajdú megyében „csak” több mint 60%-ban. Az egyik községbe az Országos Közegészségügyi Intézet illetékes osztályvezetőjét is odahívtuk, aki szembesült az addig elhallgatott körülményekkel.

Amikor a hazai jódelátottság hiányosságairól szerzett tapasztalatainkat előadásban ismertettük, az egyik reagálásból kiderült, hogy Borsodban a hatalmas számú veleszületett golyva miatt egyébként egészséges újszülöttek fulladtak meg (Barkai–Keresztúri–Péter 1968). A helyzetre az *Orvosi Hetilap* hasábjain hívtam fel a figyelmet (Péter 1968). Később a gyermekek jódelátottságának témájában nemzetközi együttműködésre is felkérést kaptunk (Delange et al. 1997). Hosszú távon folytattuk ezen vizsgálatainkat, a javuló eredményeket ugyancsak ismertetve (Péter–Podoba–Muzsnai 2015). E témakörnek az ötvenéves követése is a Debreceni Gyermekklinikáról indult (Péter 2020). Ezzel kapcsolatban született a pajzsmirigyellenes antitestek rendszeres vizsgálata eredményeként a gyermekkori immuntireoiditisz (thyreoiditis) első hazai leírása (Péter–Szécsényi–Szombathy 1966), valamint a European Society for

Paediatric Endocrinology 7. kongresszusán elhangzó első magyar előadás (Péter–Szécsényi Nagy–Szombathy 1966) is.

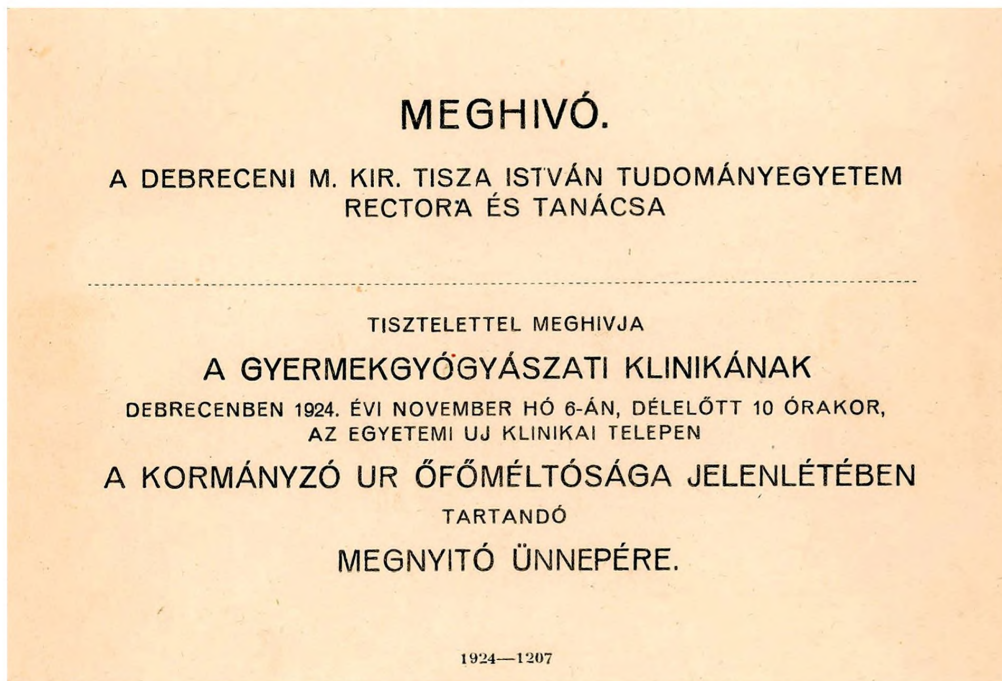
Romániába kaptam életem első külföldi tanulmányútját 1965-ben. Az ottani Országos Endokrinológiai Intézet (Institutul Național de Endocrinologie „C.I. Parhon”) a kevés „kirakatintézmény” egyike volt Bukarestben. Az engem érdeklő részleg vezetője éppen Bostonban tanulta a növekedési hormonnak az emberi hipofízisekből történő kivonását attól, aki az emberi növekedési hormon- (hGH) kezelés hatékonyságát leírta (Raben 1958). Hazatérése után felvette velem a kapcsolatot, majd utasítását követve Debrecenben elkezdtek a hipofízisek gyűjtését. 1966-ban 800 mg, kezelésként beadható hGH-t kaptam tőle. Így indult el a gyermekek hazai folyamatos hGH-kezelése ugyancsak a Debreceni Gyermekklinikáról (Péter–Kovács–Szabó 1970). Ez a tevékenység is országos méretűvé szélesedett később.

Az egyik legelismertebb amerikai gyermekendokrinológus, Robert (Bob) M. Blizzard szerette nyugdíjasként azt mondogatni, hogy „11 mérföldnyivel növeltem az amerikai lakosság magasságát”. Ha feljegyeztem volna, én is métekről számolhatnék be. Ebben a témakörben a méltó csúcsteljesítmény az lett, amikor a kezelés korszerűsítésének legutóbbi lépésében egy nagy nemzetközi együttműködés keretében vehettünk részt. A naponkénti injekciók helyett a hetente egyszer adandót (elhúzódó hatású) kellett megfelelő készítménnyé fejleszteni, amit végül elsőnek törzskönyveztek több országban (Péter et al. 2009; Péter et al. 2012).

A Debreceni Gyermekklinika adjunktusaként 1971-ben levelet kaptam Kerpel Fronius Ödön professzornak, az Országos Csecsemő és Gyermekegészségügyi Intézet igazgatójának a megbízásából azzal a feladattal, hogy szervezzek egy munkacsoportot a gyermekkori pajzsmirigybetegekkel foglalkozó kollégákból. Első körlevelünkben (a klinikák, megyei és városi gyermekosztályok vezetőinek) feltett kérdéseink a pajzsmirigybetegek gyakorisági adataira, a rendelkezésre álló diagnosztikai és terápiás eljárásokra irányultak. Reális panasz volt, hogy a veleszületett hipotireozist a tünetek alapján olyan későn lehet csak diagnosztizálni, amikor az addig kialakuló mentális károsodást a megkezdett hormonpótlás már nem képes korrigálni. Minden újszülöttnél elvégzendő, kellően specifikus és érzékeny szűrővizsgálatra lenne szükség – állapítottuk meg (Péter 1972).

Ebben az időszakban váltak ismertté az első, éppen ezt lehetővé tévő eljárások (Dussault–Laberge 1973). Minden újszülöttre kiterjedően a hazai megvalósításhoz egy évtizedre volt szükség. A mi laboratóriumunkban (Budai Gyermekkórház) 1982 és 2007 között a fél országból 1 369 503 újszülött TSH-vizsgálatát (tireoideastimuláló hormon) végeztük el, és 413 csecsemő kongenitális hipotireozisát mutattuk ki. Azonnal megkezdve a hormonpótlást, mindnyájan elkerülték a mentális károsodást, teljes értékű gyermekek/felnőttek lettek. A testmagasság növelésében elért centimétereknél is többre értékelem ezt a gyógyeredményt. A hazai újszülöttkori TSH-szűrés gondolatának gyökerei is a Debreceni Gyermekklinikaig nyúlnak vissza. Negyedszázados tapasztalataink ismertetésére meghívást kaptunk egy vezető észak-amerikai folyóirat szerkesztőségéből (Péter–Muzsnai 2011).

Ezek az egykori Debreceni Gyermekklinikához fűződő gondolatok jutottak eszembe, rátekintve a százéves meghívó (1. ábra) eredeti példányára...



1. ábra. Meghívó a Debreceni Gyermekklinika 1924. november 6-i megnyitó ünnepére
Forrás: a szerző magángyűjteménye

Irodalomjegyzék

- Barkai László – Keresztúri Sándor – Péter Ferenc (1968). „A connatalis struma előfordulása Borsod-Abaúj-Zemplén megyében”. *Népegészségügy*, 49/3, 168–170.
- Delange, François et al. (1997). „Thyroid Volume and Urinary Iodine in European Schoolchildren: Standardization of Values for Assessment of Iodine Deficiency”. *European Journal of Endocrinology*, 136/2, 180–187. <https://doi.org/10.1530/eje.0.1360180>.
- Dussault, Jean H. – Laberge, Claude (1973). „Thyroxine (T4) Determination by Radioimmunological Method in Dried Blood Eluate: New Diagnostic Method of Neonatal Hypothyroidism? (Article in French)”. *L'union médicale du Canada*, 102/10, 2062–2064.
- Kövér, Béla – Kiss Szabó, Antal (1957). „Vergleichende Untersuchungen über dem Grundumsatz von atrophischen Säuglingen bei Zimmertemperatur und im konditionierten Milieu”. *Annales Paediatrici*, 188/3, 129–138.
- Kulin László (1962). *A csecsemőkori sorvadás új szemlélete*. Doktori disszertáció. Debrecen.
- Kulin László (1970). „A csecsemőkori sorvadás pathophysiológiája, pathogenesise, adaptációs képessége, milieutherápiája klinikánk húsz éves kutatásának tükrében”. *Orvostudomány*, 21/3–4, 389–401.
- Péter Ferenc (1968). „Adatok a hazai golyvahelyzet jelenlegi állásához”. *Orvosi Hetilap*, 109/7, 360–363.
- Péter Ferenc (1972). „Pajzsmirigybetegek gyermekek területi ellátása”. *Magyar Pediatr*, 6/5, 355–359.

- Péter Ferenc (2020). „A »silent« jódpofilaxis csak részben korrigálja a jódhányt; a magyar történet (1970–2020)”. *Orvosi Hetilap*, 161/50, 2107–2116. <https://doi.org/10.1556/650.2020.31939>.
- Péter, Ferenc – Muzsnai, Ágota (2011). „Congenital Disorders of the Thyroid: Hypo/Hyper”. *Pediatric Clinics of North America*, 58/5, 1099–1115. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2011.07.002>.
- Péter, Ferenc et al. (1969). „Immunopathological Studies of Thyroid Disorders in Childhood”. *Acta Paediatrica Scandinavica*, 58/2, 199–200.
- Péter, Ferenc et al. (2009). „Pharmacokinetic and Pharmacodynamic Profile of a New Sustained-Release GH Formulation, LB03002, in Children with GH Deficiency”. *European Journal of Endocrinology*, 160/3, 349–355. <https://doi.org/10.1530/EJE-08-0703>.
- Péter, Ferenc et al. (2012). „Three-Year Efficacy and Safety of LB03002, a Once-Weekly Sustained-Release Growth Hormone (GH) Preparation, in Prepubertal Children with GH Deficiency (GHD)”. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 97/2, 400–407. <https://doi.org/10.1210/jc.2011-2234>.
- Péter, Ferenc – Kertész, László – Szerdahelyi, Ferenc (1961). „Probleme und Ergebnisse der Schilddrüsendiagnostik mit Radiojod im Säuglings- und Kindesalter”. *Radiobiology in Radiotherapy*, 2/2, 165–168.
- Péter, Ferenc – Kertész, László – Szerdahelyi, Ferenc (1963). „Der Einfluss des Klimamilieus auf den Jod-Stoffwechsel des atrophischen Säuglings”. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 111/1, 14–17.
- Péter Ferenc – Kovács Ilona – Szabó Béla (1970). „Emberi növekedési hormonnal szerzett diagnosztikai és terápiás tapasztalataink”. *Gyermekgyógyászat*, 21/1, 86–91.
- Péter, Ferenc – Podoba, Jan – Muzsnai, Ágota (2015). „Iodine Status of Schoolchildren in Hungary: Improvement a Decade On”. *European Thyroid Journal*, 4/1, 71–72. <https://doi.org/10.1159/000371550>.
- Péter Ferenc – Szécsényi Nagy László – Szombathy Gábor (1966). „Immunthyreoiditis a gyermekkorban”. *Orvosi Hetilap*, 107/11, 487–490.
- Raben, S. Maurice (1958). „Treatment of Pituitary Dwarf with Human Growth Hormone”. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 18/8, 901–903. <https://doi.org/10.1210/jcem-18-8-901>.

MEGEMLÉKEZÉS

Richard L. Garwin (1928–2025) és Lax Péter (1926–2025)
Két nagy tudós magyar vonatkozásokkal

Richard L. Garwin (1928–2025) and Péter Lax (1926–2025)
Two Great Scientists with Hungarian Ties

Hargittai István

az MTA rendes tagja, professor emeritus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest
istvan.hargittai@gmail.com

Az anyai ágon magyar származású zseniális fizikus, Richard L. Garwin (1928–2025) tervei szerint építették meg az első hidrogénbombát Teller Ede elképzeléseit követve. Évtizedekkel később nézeteik összezsaptak a stratégiai védelmi kezdeményezés kapcsán. Az amerikai elnökök egész sora támaszkodott Garwin tanácsaira és a legmagasabb kitüntetésekkel ismerték el tevékenységét.

A magyar–amerikai matematikus Lax Péter (1926–2025) gimnazistaként került Amerikába. Pályáját a New York-i Courant Intézetben (Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University) töltötte. A legmagasabb szinten végzett úttörő munkát a parciális differenciálegyenletek elméletének, alkalmazásának és számítógépes megoldásának területén. Teljesítményét a Norvég Tudományos és Irodalmi Akadémia 2005-ben Abel-díjjal ismerte el. Tanítványai ma vezető matematikusok.

A tudomány 2025. május közepén, néhány napon belül két óriást veszített el, én meg két barátot (*1. ábra*).

A fizikus Richard Garwin (1928–2025) életrajzi kötetének alcíme szerint Garwin volt az a legbefolyásosabb tudós, akiről senki sem hallott. Enrico Fermi mondta, hogy Garwin volt az egyetlen valódi zseni, akivel valaha találkozott. Fermi nem szeretett túlozni, sok kiválósággal hozta össze a sors, és Garwin közvetlen munkatársa volt a második világháborút követő években. Garwinnak a technológiai tökéletesítés iránti elkötelezettségét a következő anekdota jellemzi. A francia forradalom idején egy elítéltet guillotine-nal akarnak kivégezni, de a bárd valamiért nem esik le. A hóhér azt mondja: „Isten akarata”, és szabadon engedi az elítéltet. A következőn ugyanez történik, a bárd megakad, és az elítélt szabadon távozik. A következő a sorban Garwin, aki felnéz a bárdra, és azt mondja: „Ó, már látom a problémát”, jelezve, hogy kijavítaná.

Richard Garwint és feleségét először 2004 augusztusában látogattuk meg otthonukban, a New York állambeli Scarsdale-ben, és ezt követően jó tíz éven keresztül évente találkoztunk, hol vendégprofesszori ideiglenes otthonunkban, New Jersey-ben, hol náluk.



1. ábra. Egy találkozó 2010-ben ideiglenes lakhelyünkön (Fort Lee, New Jersey). Balról jobbra: Szemerédi Endre, Lori Lax, Lax Péter, Richard Garwin, Kepes Anna (Szemerédi Endre felesége), Hargittai Magdolna, Lois Garwin és Hargittai István
Forrás: Hargittai Eszter felvétele

Garwin huszonhárom éves fiatal fizikusként tervezte meg a világ első hidrogénbombáját Los Alamosban, az amerikai nukleáris laboratóriumban. A hidrogénbomba elvét Teller Ede és Stanisław Ulam írta le egy máig is titkosított dokumentumban, de a szintén azóta is titkos műszaki megoldás Garwintól származott. Sokáig kevesen tudtak erről – részben azért, mert Teller nem igyekezett hivatkozni Garwinra, aki ezt nem bánta, mert idővel élesen ellenezte a hidrogénbomba hadászati célú felhasználását.

A következő évtizedekben Garwin az IBM vezető kutatójaként dolgozott nyugdíjazásáig. Továbbra is részt vett az amerikai fegyverprogramokban úgy, hogy az IBM szükség szerint kölcsönadta ezekre a munkákra. Több más híres amerikai fizikussal is voltak közös munkái. Telegdi Bálint azt nyilatkozta, hogy nem szeretett Garwinnal dolgozni, mert ha valamilyen kísérleti problémát kellett megoldani, és Garwin részt vett a munkában, akkor a többieknek már nem maradt tennivalójuk. Garwin egyik híres munkája egy olyan kísérlet volt, amely megdöntötte a gyenge kölcsönhatásokban a paritásmegmaradás dogmáját. Lee és Yang 1956-ban publikált híres cikkben tette fel erre vonatkozó kérdését, és három kutatócsoport eredeti kísérletekkel adta meg a választ, amely szerint nem érvényes a paritásmegmaradás. A három közül az egyik Garwin és társai munkája volt.

Garwin a csillagháborús tervek (stratégiai védelmi kezdeményezés) idején, az 1980-as években keményen bírálta Teller elképzeléseit. Előfordult, hogy Garwin

és Teller a *New York Times* hasábjain vitatkozott. Vitastílusuk markánsan különbözött. Teller nem mindig volt tárgyszerű, kedvelte a sejtetést. Volt, amikor érvek helyett cáfolhatatlan bizonyítékokra utalt, amelyeket azonban nem mondhatott el arra hivatkozva, hogy titkosítottak. Garwin vitamódszere ennek szöges ellentéte volt, abszolút tárgyilagos, de ennek megfelelően kevésbé izgalmas és érzelemmentes. Legendák szóltak arról, hogy Teller a vitákban legyőzhetetlen volt, de Garwint hidegen hagyta Teller nimbusza.

Garwin köztiszteletnek örvendett és nemcsak fizikus kollégái körében, hanem az amerikai politikai és katonai vezetők között is. A legutóbbi időig az amerikai elnökök melletti szakértői bizottságokban is tevékenykedett. Ezért is éreztem nagyon súlyosnak a következő megjegyzését 2004-ben, amikor felvettem vele egy hosszú beszélgetést. Azt mondta, szerencsére a terroristák még nem robbantottak fel valamilyen nukleáris szerkezetet valamelyik amerikai nagyvárosban. Meg volt győződve arról, hogy ez a következő néhány évben megtörténik. Tíz évvel később újra megkérdeztem erről a véleményét. 2014-ben továbbra is tartott egy nukleáris terrortámadástól, de már nem akkora meggyőződéssel jósolta meg a bekövetkezését, mint korábban.

Garwin anyai ágon magyar származású volt. Anyja, leánykori nevén Leona Schwartz, 1900-ban született és 1996-ban halt meg Amerikában. Garwin számára csak 1985-ben derült ki, hogy anyja nem az Egyesült Államokban, hanem Magyarországon született, addig úgy tudta, és mindenféle hivatalos papírjain is az szerepelt, hogy amerikai születésű. Valójában Garwin anyja tizenkét éves volt, amikor a család Magyarországról kivándorolt Amerikába. Garwin anyai nagyanyja sohasem tanult meg angolul, és a családban csak magyarul beszéltek. Amikor Garwin anyja áruházi eladóként helyezkedett el, nem tudott jól angolul, de igyekezett megfelelni az elvárásoknak, és meg voltak elégedve vele. Egy napon a főnöke azt mondta, hogy amikor hétfőnként munkába áll, alig lehet érteni a beszédét, de péntekre feljavul, aztán a következő hétfőn minden kezdődik előlről. Garwin anyja ettől kezdve nem beszélt magyarul.

Garwin az ohioi Clevelandben született. Egyetemi tanulmányait a Case Institute of Technologyn (ma Case Western Reserve University, CWRU) végezte, majd 1949-ben a Chicagói Egyetemen (The University of Chicago) Fermi tanítványaként fizikából doktorált. Három évig maradt a Chicagói Egyetemen, 1952-ben csatlakozott az IBM céghez. Az IBM Watson Scientific Computing Laboratory igazgatója és az IBM Thomas J. Watson Research Center alkalmazott kutatási igazgatója volt. Részmunkaidőben a Los Alamos-i Nemzeti Laboratóriumban (Los Alamos National Laboratory) dolgozott. Oktatott a Columbia Egyetemen (Columbia University in the City of New York), a Harvard Egyetemen (Harvard University) a közpolitika professzora volt.

Tagja volt a Fehér Ház Tudományos és Technológiai Politikai Hivatalának (Office of Science and Technology Policy, OSTP) 1962–1965 és 1969–1972 között, valamint a Védelmi Tudományos Tanácsnak (National Defense Research Committee, NDRC) 1966–1969 között. 1997 és 2004 között a New York-i Council on Foreign Relations tudományos és műszaki vezető munkatársa volt.

Megválasztották mindhárom amerikai tudományos akadémia tagjává: a Nemzeti Tudományos Akadémia (National Academy of Sciences, NAS) 1966-ban, a Nemzeti Orvostudományi Akadémia (National Academy of Medicine, NAM) 1975-ben és a Nemzeti Mérnökakadémia (National Academy of Engineering, NAE) 1978-ban. Tagja volt 1969-től az Amerikai Művészeti és Tudományos Akadémiának (American Academy of Arts and Sciences) és 1979-től az Amerikai Filozófiai Társaságnak (American Philosophical Society).

Megkapta a legmagasabb amerikai kitüntéseket. Clinton elnöktől 1996-ban vette át az Enrico Fermi-díjat (Enrico Fermi Prize), George W. Bush elnöktől 2003-ban a Nemzeti Tudományos Érmét (National Medal of Science). Ennek indoklása így szólt: „a fizikában és a kapcsolódó területeken végzett kutatásaiért és felfedezéseiért, valamint a nemzetnek nyújtott hosszú távú szolgálataért, amellyel fél évszázadon át értékes tudományos tanácsokat adott a nemzetbiztonság fontos kérdéseiben”. 2016-ban Obama elnöktől megkapta a legmagasabb amerikai kitüntetést, az Elnöki Szabadság-érdemrendet (Presidential Medal of Freedom).

Lax Péter Dávid (Peter D. Lax, 1926–2025) Budapesten született, tizenöt évesen családjával – orvos szüleivel és bátyjával, aki később fizikus lett – a zsidóüldözés elől az Egyesült Államokba emigrált. Apja, Lax Henrik (1894–1990) és anyja, Kornfeld Klára (1895–1973) orvostanhallgatóként ismerkedtek meg. Kornfeld Klára az egyik első nő volt, akit Magyarországon felvettek az orvosi egyetemre. Lax szülei éppen akkor kezdtek meg tanulmányaikat, amikor az úgynevezett „boldog békeidők” véget értek. Amikor megkapták a diplomát, már egy egészen más országban éltek. Lax felidézett egy történetet az apjáról, aki 1920-ban Budapestről Szegedre utazott, és semmi sem történt. Másnap ugyanezt a vonatot megállították, a zsidó utasokat kiszállították és agyonlőtték. Lax Henrik a budapesti zsidó kórházban dolgozott, és annak főorvosa lett.

Péter a Mintagimnáziumba járt (mai ELTE Trefort Ágoston Gyakorlóiskola); a matematikát magas színvonalon tanították, de még így sem elégítette ki érdeklődését és tudásszintjét. Szülei további oktatásról gondoskodtak számára, és Péter Rózsát korrepetálásra, König Dénest pedig tanácsadásra nyerték meg. Még messze volt az érettségitől, amikor részt vett az érettségizettek számára szervezett Eötvös-versenyen, versenyen kívül indult és még a győzteseket is felülmúlta.

Addigi tapasztalataik és az egyre brutálisabb zsidóellenes törvényhozás arra készítette a Lax családot, hogy 1941-ben emigráljon. Lax Henrik népszerű orvos volt, jó módú magánkliensekkel, ezért különösen nehéz volt számára a távozás, de felesége ragaszkodott hozzá. Nem volt könnyű amerikai vízumot szerezni, de az amerikai nagykövetség egyik vezető munkatársa Lax Henrik páciense volt. Vonattal utaztak a portugáliai Lisszabonba, keresztül Németországon (vagyis Ausztrián, de azt Hitler akkor már annektálta). Amikor elérték a svájci határt, a német határőr ellenőrizte a papírjaikat, és megkérdezte, hogy maradt-e hús- és vajjegyük. Laxék valóban kaptak

ilyen kuponokat, amikor átlépték a határt a Német Birodalomba. Most odaajándékozták a megmaradt kuponokat a német katonának. Ha Laxéknak nem lettek volna megfelelő papírjaik, a németek lelőhették volna őket, de az adott helyzetben az őr csak szívességet kért tőlük. A Lax család 1941. december 5-én hagyta el Európát egy Lisszabonból induló hajóval. A nyílt tengeren voltak, amikor Japán december 7-én megtámadta az Egyesült Államokat Pearl Harborban. Másnap az Egyesült Államok belépett a második világháborúba.

Laxék a tanév közepén érkeztek New Yorkba, és el kellett dönteni, hogy Péter hol folytassa a tanulmányait. Mindent tudott matematikából, amire az amerikai középiskolában szüksége volt, sőt még annál is többet. A dél-manhattani tekintélyes Stuyvesant Gimnáziumba (Stuyvesant High School) iratkozott be, amelyben előtte és azóta is sok híres tudós és matematikus végzett. Lax matematikát nem tanult, de tagja lett az iskola matematikacsapatának, amely abban az évben megnyerte a New York városi matematikaversenyt.

1943-ban Lax leérettségizett és a New York Egyetemen (New York University) folytatta tanulmányait, ahol a Németországból menekült Richard Courant (1888–1972) erős matematikai tanszéket alakított ki. Courant előzőleg hasonlóan kiváló matematikai tanszéket hozott létre Göttingenben, mielőtt elbocsájtották volna az egyetem többi zsidó professzorával együtt. Lax három szemesztert töltött a New York Egyetemen, majd 1944-ben nyári egyetemre ment a kaliforniai Stanford Egyetemre (Stanford University).

Mivel betöltötte a 18. életévét, behívták katonai szolgálatra, de kapott négy hét halasztást és így befejezhette a stanfordi szemesztert. Kiváló matematika tanszék volt ott, amelyet a nemrég emigrált Szegő Gábor alakított ki. Szegőék rokonságban álltak a Lax családdal, és Lax náluk lakott. Élvezte, hogy az étkezések alatt is matematikáról beszélhettek.

A stanfordi szemeszter végeztével Lax bevonult, és megkapta az alapkiképzést. A hadsereg hamar felismerte képességeit, részletes intelligenciatesztnek vetették alá, és a Texas A&M Egyetemre (Texas A&M University) küldték, hogy részt vegyen a hadsereg speciális kiképzési programjában. Nyelveket tanult, és féléves mérnöki képzést kapott.

1945 júniusában Los Alamosba vezényelték egy 30 fős csoport tagjaként, amelynek elmondták, hogy min dolgozik Los Alamos. Csak 19 éves volt, mégis komoly feladatot kapott: kritikai tanulmányt kellett készítenie a robbanóanyagok összeállításának különböző módjairól. Különösen érdekes kérdés volt, hogy milyen legyen a plutóniumbomba alakja a legjobb energiahozam eléréséhez. Ebben a bombában be-robbantást alkalmaztak a hasadóanyag kritikus tömegének elérésére. Ehhez a gömb alakú hasadó plutóniummag burkolására csonka ikozaéderes formát használtak.

Lax ekkor találkozott először Neumann Jánossal. Kapcsolatuk 1949-ben mélyült el, amikor Lax visszatért Los Alamosba, miután megkapta PhD-fokozatát. Ekkor már összetettebb problémákon dolgozott, például hidrodinamikai problémák megoldására szolgáló differenciálegyenleteken. Los Alamos, Neumann és a plutóni-

umbombával kapcsolatos munka vezette Laxot arra a területre, ahol a legfontosabb eredményeit érte el. Ez a lökeshullámok részletes matematikai elméletének kidolgozása volt, ami nemcsak a bomba szempontjából érdekes, hanem annak megértéséhez is, hogy a repülőgépek hogyan küzdik át magukat a légkörön. Amikor a repülőgépek hangsebesség közelében vannak, lökeshullámok alakulnak ki. A Lax által kifejlesztett numerikus módszereket a szuperszonikus repülés biztonságosabbá tételében is felhasználták.

Mire Lax Los Alamosba került, már amerikainak tartotta magát. Az 1944–1945-ös borzalmakról túlélőktől, Lévai Jenő *Zsidósors Magyarországon* című könyvéből és más forrásokból értesült (Lévai 1948). Megfogadta, hogy soha nem bocsátja meg a Magyarországon történeteket, de későbbi éveiben minden második évben ellátogatott Budapestre. A családtagokon kívül fontosnak tartotta a kiváló matematikusokkal való kapcsolatát. Nem hibáztatta a háború utáni nemzedéket a holokausztban történetekért, de nehezményezte, hogy a magyar hivatalosság soha nem nézett szembe igazán a múlttal. Keserűséggel töltötte el, hogy a régi gyűlölet az új nemzedékek tagjaiban újratermelődik. Tudta, hogy az 1989–1990-es politikai változások előtt is létezett burkolt antiszemitizmus, de azt is látta, hogy a politikai változások óta a nyílt antiszemitizmus jelentős politikai erők által megtűrt, és ezáltal bátorított antiszemitizmus lett.

Lax egész pályafutása alatt a New York Egyetemen maradt. Idővel a számítástechnikai tudományok is a matematikai tanszékhez kerültek, és létrejött az egyetem Courant Matematikai Tudományok Intézete. Lax egy ideig a Számítógépes Központ igazgatója volt.

Igazgatósága idején, 1970-ben különös esemény történt. Folyt a vietnámi háború és zajlottak a háborúellenes diáktüntetések. 1970 tavaszán egy szélhámós professzor vezette csoport elfoglalta a Courant Intézetet, és azt követelte, hogy az adminisztráció utaljon át 100 000 dollárt egy Fekete Párducok elnevezésű forradalmi csoport számára. Azzal fenyegetőztek, hogy ha az egyetem nem teljesíti követelésüket, megsemmisítik a Courant Intézet 3,5 millió dolláros számítógépét. Az egyetem nem teljesítette a követelést, és a megszállók két nap után távoztak. A Számítógépes Központ munkatársai az épület előcsarnokában tartózkodtak, amikor Lax füstszagot érzett. Többen felrohantak a számítógépterembe, ahol egy égő biztosítékot találtak, amely a számítógéphez kötött, gyúlékony folyadékot tartalmazó palackokhoz vezetett. Lax, nem törődve az életveszéllyel, gondolkodás nélkül az élesített bomba felé rohant. Példája kollégáit is arra készítette, hogy megmentse a számítógépet. Lax a Számítógépes Központ igazgatói munkáját követően 1972 és 1980 között a Courant Intézet igazgatója volt.

Lax számos magyar és magyar származású tudóssal találkozott. Szilárd Leóval családi kapcsolatai révén ismerkedett meg, mivel Szilárd jó barátja volt Lax anyai nagybátyjának, Kornfeld Albert mérnöknek, aki Szilárd tanácsára ment ki, szintén Németországba. Kornfeld készítette el a Szilárd és Einstein által feltalált hűtőszekrény mérnöki terveit. Lax az öt marslakó közül többekkel is találkozott, akik közül Neumann állt legközelebb hozzá. Lax szerint nagyon kevés ember látja előre a jövőt,

és még azok sem tesznek semmit, de Neumann kivétel volt. Olyan előrelátó képességgel rendelkezett, mint senki más, és cselekedett is.

Lax néhai első felesége, Anneli (született Cahn) szintén matematikaprofesszor volt a New York Egyetemen. Végzős diákként ismerkedtek meg. Később együtt írtak matematika-tankönyveket. Két fiuk született. Johnny végzős történelem szakos hallgató volt a Columbia Egyetemen, amikor egy részeg sofőr által okozott autóbalesetben életét veszítette. Jimmy orvos New Yorkban. Lax néhai második felesége, Lori, Richard Courant lánya, zenész volt. Otthoni koncertjeiken többször is részt vettünk.

Lax tagja volt az Egyesült Államok Nemzeti Tudományos Akadémiájának, és számos nemzeti akadémia külföldi vagy tiszteletbeli tagja volt, többek között a Francia Tudományos Akadémiának, az Orosz Tudományos Akadémiának, a Norvég Tudományos és Irodalmi Akadémiának és a Magyar Tudományos Akadémiának. Legnagyobb kitüntetései közé tartozik az Egyesült Államok elnöke által adományozott Nemzeti Tudományos Érem (1986); a Wolf-díj (Izrael, 1987); valamint a Norvég Tudományos és Irodalmi Akadémia Abel-díja, amelyet 2005-ben nyert el „a parciális differenciálegyenletek elméletéhez és alkalmazásához, valamint megoldásuk kiszámításához való úttörő hozzájárulásáért”. Kitüntetései között tartotta számon 55 PhD-hallgatóját, akik közül 20 matematikaprofesszor lett.

Az évek során sokat beszélgettem Laxszal, a fenti történetek is beszélgetéseinkből származnak. Három beszélgetést fel is vettünk, egyet Budapesten 2005 novemberében és kettőt New Yorkban 2007 májusában és júniusában. A felvételeket angolul készítettük. Egy összevont változat megjelent a *Mathematical Intelligencer*-ben (Hargittai 2010). A *Magyar Tudomány* már korábban közölt egy magyar változatot (Lax–Hargittai 2007). Egyébként mindig magyarul beszélgettünk, de Lax, amikor angolul beszélt, akkor is magyarul káromkodott és magyarul számolt.

Teller Edéről szóló életrajz-könyvemhez az előszót Lax írta, az utószót Garwin (Hargittai 2011). Sok minden összekapcsolta őket, és nem csak az én fejemben: Los Alamos, az aggodás és tenni akarás az Egyesült Államok és azon keresztül a szabad világ védelméért, a tudomány szeretete és népszerűsítése. Sok magyar származású, Nyugaton fényes pályát befutott tudományos nagyságról tudunk. Az emigrálás nagy veszteségeket okozott a magyar tudományosságnak, és fontos feltárni ennek a máig tartó kiáramlásnak az okait az egyes időszakokra lebontva. Ugyanakkor nem lenne helyes teljesen veszteségnek tekinteni az emigrációban elért teljesítményt. Az emigrációba kényszerültek különböző mértékben, de magukkal vitték a magyarországi oktatás és kultúra sok elemét. Amikor a magyar tudományosság össztermékét számba vesszük, nem lenne helyes kihagyni az emigrációban született eredményeket. A kérdés mindig az értékelés hangsúlyán és előjelén van. Ebben megnyilvánulhat büszkeség, sajnálkozás és elismerés ugyanúgy, mint történelemhamisítás és érdemtelen hengegés.

Megköszönöm Kardos Júliának, Kepes Annának, Radnóti Sándornak, Silberer Verának, Simonovits Andrásnak és Szemerédi Endrének, hogy elolvasták a kéziratot és köszönöm az értékes megjegyzéseket és javításokat.

Irodalomjegyzék

Hargittai, István (2010). „The Last Boat from Lisbon: Conversations with Peter D. Lax”. *The Mathematical Intelligencer*, 32/3, 24–30.

Hargittai István (2011). *Teller*. Budapest: Akadémiai Kiadó.

Lax Péter – Hargittai István (2007). „Az utolsó hajó Lisszabonból: beszélgetés Lax Péterrel”. *Magyar Tudomány*, 167/11, 1466–1479.

Lévai Jenő (1948). *Zsidósors Magyarországon*. Budapest: Magyar Téka.

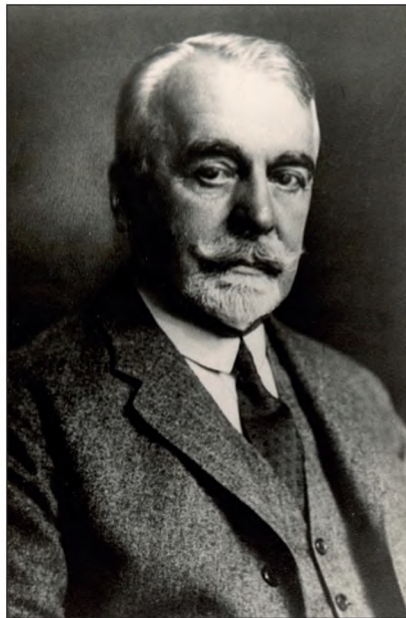
TUDÓSPORTÉ

Hutýra Ferenc, a magyar állatorvos-tudomány kimagasló jelentőségű,
világszerte ismert alakja

Ferenc Hutýra, a World-Renowned Figure of Outstanding Importance
in Hungarian Veterinary Science

Varga János

az MTA rendes tagja, professor emeritus, Állatorvostudományi Egyetem, Budapest
Varga.Janos@univet.hu



1. ábra. Hutýra Ferenc

Forrás: Állatorvostudományi Egyetem
Hutýra Ferenc Könyvtár, Levéltár és Múzeum

Hutýra Ferenc (ejtsd: Hutira) szlovák származású magyar állatorvos, orvos (1. ábra), az állatorvosi patológia, a belgyógyászat, a fertőző betegségek és az igazságügyi állatorvostan területén végzett munkássága egyaránt kiemelkedő. Az oktatás, kutatás mellett a budapesti Magyar Királyi Állatorvosi Főiskola három évtizeden át volt rektoraként nagyban hozzájárult a magyar állatorvosi oktatás és állatorvoslás európai szintre emeléséhez.

A mai Szlovákiában, Szepeshelyen született, 1860-ban. Az elemi iskolát Iglón és Késmárkon végezte, a gimnáziumot pedig Zníováralján, Egerben és Lőcsén. Az érettségit követően, 1878-ban iratkozott be a budapesti Tudományegyetem orvosi karára, ahol 1883-ban kapott orvosdoktori oklevelet. Bár anyanyelve szlovák volt, korán megtanult magyarul, felnőttként pedig folyékonyan beszélt németül, franciául és angolul is. 1886-ban került át a Magyar Királyi Állatorvosi Tanintézet kórbonctani osztályára. Új munkahelyéről rövidesen tanulmányútra indult, amelynek során Ausztria, Németország, Dánia, Belgium, Franciaország és Svájc egyetemi állatorvosi intézeteinek a munkáját tanulmányozta és korának számos kiváló tudósával találkozott. Hazatérte után, 1887-ben állatorvosi oklevelet szerzett és az állatorvosi kórbonctan előadó tanára lett. 1888-ban átvette az állatorvosi belgyógyászati klinika vezetését és az állatorvosi belgyógyászat és a járványtan rendes tanáráként végzett oktatómunkát, 1899-ben az állatjárványtan, 1889-ben pedig az állatjárványtan, állategészségügyi rendszet és hússzemle magántanárává nevezték ki.

Az 1890-es évek elejétől aktívan részt vett a Magyar Királyi Állatorvosi Tanintézet helyébe lépett Állatorvosi Akadémia szervezeti kialakításában, 1897-ben a tanintézet igazgatója lett. 1899-ben nyilvános rendkívüli tanári címet kapott és egyúttal az ugyanabban az évben önállósodott Magyar Királyi Állatorvosi Főiskola első rektora lett és ezt a posztot egészen 1931-ig betöltötte. 1901-ben a belgyógyászati klinika vezetését átadta Marek Józsefnek és a főiskola járványtani intézetének a munkáját irányította tovább. 1906-ig a húshigiénia, 1927-ig a járványtan, 1927-től 1933-ig a törvényszéki állatorvostan tantárgyak előadó tanára is volt. 1906-ban udvari tanácsossá nevezték ki, 1917-ben nemesi címet kapott. 1927-től haláláig a felsőház tagja volt.

Pályája elején főként a humánpatológia érdekelte. Az 1880-as évek közepétől érdeklődése az állatorvos-tudomány felé fordult. Elsősorban állatjárványtannal, a fertőző betegségek kórtanával, kórjelzésével gyógykezelésével és a megelőzés lehetőségével foglalkozott. Jelentős eredményeket ért el a tuberkulózis (gümőkór), a malleus (takonykór), a tenyészbénaság, a keleti marhavész, a lépfene, a sertésorbánc, a tetanusz és sok más betegség vizsgálatában. Foglalkozott a tuberkulin felhasználhatóságával a szarvasmarha gümőkór kórjelzésére (1891), a lépfene és a sertésorbánc elleni vakcináció lehetőségeivel (1893), valamint az állatbiztosítás (1893) és az állatok adásvétele során felmerülő szavatosság kérdéseivel (1895). Számos állategészségügyi igazgatási kérdéssel is foglalkozott. Bevezette a malleines szempróbát (1907) a takonykór kórjelzésére. Az 1895-ben Magyarországon is megjelent sertéspestisről kimutatta annak vírusos jellegét, s munkatársaival együtt kidolgozott egy, a betegség megelőzésére egészen az 1950-es évek elejéig széles körben használt oltási módszert, hiperimmun vérsavó és élővírus együttes felhasználásával. Köves Jánossal együtt 1907-ben Kőbányán létrehozott egy virológiai laboratóriumot, ahol a beteg sertések gyógyítása, illetve a betegség megelőzése érdekében hiperimmun vérsavót állítottak elő. Ebből a laboratóriumból fejlődött ki 1912-ben a Phylaxia Szérumtermelő Részvénytársaság.

Részt vett több állatorvosi szakfolyóirat szerkesztésében. Hatékonyan működött az országos állategészségügyi hálózat fejlesztése érdekében is. Részt vett több állat-

egészségügyi rendelet, törvény előkészítésében és megfogalmazásában, törekvéseinek köszönhetően alakulhatott meg 1900-ban az Országos Állategészségügyi Tanács.

Folyamatosan törekedett az állatorvosi oktatás színvonalának emelésére és az egyetem szervezeti felépítésének korszerűsítésére. 1894–1898 között készült el háromkötetes *Állatorvosi Belgyógyászat* című tankönyve majd ennek újabb kibővített kiadása 1904-ben (Hutýra–Marek 1904a; 1904b; 1904c). 1905–1906-ban, német nyelven Jénában adták ki az általa (Marek József társszerzősége mellett) írt, az állatorvosi belgyógyászatot és a háziállatok fertőző betegségeit egyaránt tartalmazó kétkötetes tankönyvet (*Specielle Pathologie und Therapie der Haustiere*), amely korának alapvető tankönyvévé vált, Európában és a világ számos más országában is (Hutýra–Marek–Manninger 1938). Ez a tankönyv, illetve ennek Hutýra Ferenc tanszéki utódai (Marek József, Manninger Rezső, Mócsy János) által írt újabb és újabb bővített és átdolgozott változatai egészen az 1960-as évekig 11 kiadást értek meg és a német mellett lefordították angol, spanyol, orosz, olasz, majd szerb, lengyel és kínai nyelvre is. Az 1900-as évek elejétől kezdve számos állatorvos generáció ezekből a tankönyvekből tanulta az állatorvosi belgyógyászatot és a fertőző betegségeket világszerte. E könyvek különleges értékét az adta, hogy az egyes betegségekre vonatkozóan a kor ismereteinek kritikai szintézisét adta és számos saját megfigyelést, tapasztalatot is tartalmazott.

Tudományos eredményei elismeréseként a Magyar Tudományos Akadémia 1910-ben levelező, 1921-ben rendes, 1934-ben pedig tiszteleti tagjává választotta. Számos külföldi egyetem, akadémia választotta díszdoktorául, levelező tagjává, számos hazai és külföldi kitüntetést kapott. 1921-ben alapító tagja és 1933-ig Magyarország képviselője a párizsi Nemzetközi Állatjárványügyi Hivatalban (Office International des Epizooties, OIE).

1931-ben rektorságáról lemondott, 1933 augusztusában pedig betegsége miatt a tanítástól és a tudományos közélettől egyaránt visszavonulva nyugdíjba ment. 1934 decemberében, 74 éves korában hunyt el, és a Kerepesi úti temetőben (ma: Fiumei úti sírkert) temették el. Emlékét az 1937-ben az Állatorvostudományi Egyetem parkjában felállított mellszobra, az egyetem közelében lévő róla elnevezett utca, az 1960-ban alapított Hutýra Ferenc emlékérem, valamint a mai Állatorvostudományi Egyetem könyvtárának neve őrzi (Hutýra Ferenc Könyvtár, Levéltár és Múzeum).

Irodalomjegyzék

- Hutýra Ferenc – Marek József (1904a). *Állatorvosi belgyógyászat 1. Fertőző betegségek*. Állatorvosi kézikönyvtár 9. Budapest.
- Hutýra Ferenc – Marek József (1904b). *Állatorvosi belgyógyászat. 2. A vér, a lép, az anyagforgalom, az idegrendszer, a mozgató szervek, lélekző szervek és a vérkeringési szervek betegségei*. Állatorvosi kézikönyvtár 10. Budapest.
- Hutýra Ferenc – Marek József (1904c). *Állatorvosi belgyógyászat. 3. Az emésztő szervek, a húgszervek és a bőr betegségei*. Állatorvosi kézikönyvtár 11. Budapest.
- Hutýra, Ferenc – Marek, József – Manninger, Rezső (1938). *Spezielle Pathologie und Therapie der Haustiere*. Jena: Gustav Fischer Verlag.

Szabados László képeslapgyűjteményéből



A kalocsai Haynald-obszervatóriumot Haynald Lajos (1816–1891) kalocsai bíboros érsek, az MTA igazgatósági tagja 1878-ban létesítette az iskolaépület tetején. Berendezésében Konkoly Thege Miklós (1842–1916) csillagász, meteorológus, az MTA tiszteleti tagja is részt vett. 1885 és 1913 között Fényi Gyula (1845–1927) jezsuita szerzetes, tanár, csillagász, az MTA levelező tagja volt az igazgatója.

A kalocsai obszervatóriumban a Nap – elsősorban a napfoltok – vizsgálatával kapcsolatban érték el jelentős eredményeket. Az iskolaépületben jelenleg a Szent István Gimnázium működik
(Jurcsó Antal, Kalocsa, 1907)

Forrás: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/16458/>



Haynald Lajos (1816–1891) teológiai doktor, kalocsai bíboros érsek, erdélyi katolikus püspök, botanikus, az MTA igazgatósági tagja szülőháza Szécsényben (Glattstein Adolf kiadása, Szécsény)

Forrás: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/317/>

KÖNYVSZEMLE

Berta Renáta és munkatársai

Mit is iszunk? Mikroműanyag-problémák, jelenlegi helyzet

A Pannon Egyetem Soós Ernő Kutató-Fejlesztő Központ munkatársainak ez a könyve a napjainkra már nyilvánvaló, mindenhová behatoló apró műanyag szemcsék inváziója miatt nemcsak a szakembereknek, hanem a műanyaghasználat előnyeit élvező, de a földi környezetet sújtó következményeket még csak nem is sejtő mindennapi embereknek is tanulságos olvasmány, mindenki számára ajánlott.

A műanyagok, találó elnevezésük szerint nem természetes, hanem mesterséges anyagok. A múlt században elindított ipari gyártásuk volumene és sokfélesége rohamosan növekszik. A műanyag termékek mára már nélkülözhetetlenek, azonban természetidegen anyagok, több mint 100 éve nagyrészt hulladékként halmozódnak a Földön, kezelésük világszerte óriási probléma. A földi ökoszisztémák nem tudnak mit kezdeni ezekkel a szintetikus anyagokkal, különösen a töredezéssel elkezdett apró szemcsékkel. Valódi egészségügyi kockázatuk ma még nem ismert. A bioszféra mikroműanyag-fenyegetettsége napról napra súlyosbodik.

A könyv a „Bevezetés” előtt az elterjedten használt betűszavakat listázza a „Rövidítések jegyzéke” című fejezetben, részben angolul is megadva azokat, amelyek magyar fordításában még nem egyezett meg a szakma, így segítve az olvasókat, hogy könnyebben tudják követni az érdemi fejezetekben leírtakat.

A szerzők hat fő fejezetben mutatják be a mikroműanyagok fontosabb tulajdonságait, tárgyalják előfordulásukat különböző típusú vizekben (felszíni víz, ivóvíz – palackozott, illetve csapvíz, és nem ivóvíz – ipari vizek és szennyvíz). Ismertetik a mikro-/nanoműanyag-részecskék és az általuk hordozott mikroszennyezők egészségügyi hatásait, a törvényi szabályozásukat (az Európai Unióban és Magyarországon), a kimutatási lehetőségeket, az analitikai módszereket és végül a mikroszennyező- és mikroműanyag-mentes vízelőállítási technológiákat különböző nyersvizek esetén.

A „Mikroműanyagok jellemzése” című fejezetben a Milyen anyagok ezek valójában? kérdésre keresik a választ. Az antropogén eredetű 5 mm-nél kisebb mikroműanyag-szemcsék az új perzisztens szennyező anyagok körébe tartoznak. Az irodalomból hiányzó egységes nevezéktan miatt a tanulmányok összehasonlítása nehézkes, de a fő gond, hogy eltérőek a mintavételi és az analitikai módszerek. Környezetileg releváns tulajdonságaikat, a felületük hidrofób/hidrofil jellegét, a felületi töltések kialakulási lehetőségeit, adszorpciós képességüket, a mikroműanyag-részecskék egymással, a vízben oldott anyagokkal (sók, szerves molekulák) és diszpergált ásványi részecskékkel, szerves kolloidokkal való kölcsönhatásaikat is tárgyalják, mivel ezektől függ a sorsuk, a végső helyük a környezetben.

Noha a mikro-/nanoműanyagok már mindenfelé szétszóródtak, a könyv csak a vizes előfordulásokat tárgyalja. A „Mikroműanyagok előfordulása különböző típusú vizekben” című fejezetben a felszíni vizek (tengerek, óceánok, folyók, tavak), az ivóvizek (palackozott és csapvíz), a nem ivóvizek (szennyvizek, ipari hulladékvizek) mikroműanyag-tartalmának forrásaival, a mintavételezés és mennyiségi/minőségi meghatározás nehézségeivel foglalkoznak. Általában a szennyvizekben található a legtöbb, és a felszín alatti vizekben a legkevesebb mikroműanyag-szemcse. Meglepően magas a palackozott vizekben a mikroműanyag-részecskék száma, míg a csapvizekben néhány esettől eltekintve minimális. A környezetben lévő mikroműanyagok egyre nagyobb aggodalomra adnak okot, mivel veszélyt jelentenek a vízi élőlényekre és az emberekre is.

„A mikro/nanoműanyagok egészségügyi hatásai” talán a legérdekesebb fejezet a meghökkentő és elgondolkodtató tényekkel a mindenütt jelen lévő mikro-/nanoműanyag-részecskék egészségügyi kockázatairól. Az ökotoxikológiai vizsgálatok szerint a részecskék önmagukban, illetve a kioldódó adalékanyagok, monomerek, a felületen megkötött szennyezők, patogén mikroorganizmusok révén lehetnek veszélyforrások. Az ember is kitett a mikro/nanoműanyagok kockázatainak, a tengeri ételekből, a levegőből és az ivóvízből, főként a palackos vizekből jelentős mennyiségű mikroműanyag kerülhet az emberi szervezetbe. A fejezetben az endokrin rendszert károsító biszfenolok élő (köztük az emberi) szervezetre gyakorolt fatális hatásai mellett a ftalátok és a megkötött hidrofób és mikrobiális szennyeződések veszélyeit is bemutatják. Felhívják a figyelmet a levegőben lebegő, főleg szintetikus textíliákból, belső terekben bútorkárpitok, műanyag felületek kopásából származó, valamint a textil- és műanyagipari csarnokokban lévő mikro-/nanoműanyag-részecskék belélegzésének kockázataira is.

„A mikroműanyagok törvényi szabályozása” könyvrész nem egy érdekfeszítő olvasmány, de a környezetünk megóvása, a természet megújulása érdekében a legfontosabb. Csak következetes és hatékony szabályozással előzhető meg a mikroműanyag-szennyezés végzetes növekedése. A vízbázisvédelem, a vizek tisztaságának megőrzését célzó jogi lépések jelentősége óriási.

„A mikroműanyagok kimutatási lehetősége, analitikai módszerek” című tematika veti fel talán a legtöbb problémát, noha lényegében a meglévő módszereket alkalmazzák. Az összes probléma alapja, forrása, hogy nincs egységesen elfogadott, szabványosított mintavételi és elemzési protokoll, sőt még megfelelő „mikroműanyag” definíció sincs. A fejezetben bemutatják a mintavételezés eszközeit, buktatóit, a minta előkészítést, az elválasztási, a kinyerési eljárásokat, a szennyezés-eltávolítás lehetőségeit és részletesen a mikroműanyagok azonosítására használt mikroszkópos, spektroszkópiás, diffrakciós és szórási módszereket. A szerzők kitérnek arra is, hogy a vizsgálatok speciális laboratóriumi munkát igényelnek a minőségbiztosítás, a kontamináció elkerülése érdekében, mivel a mikro-/nanoműanyag-részecskék mindenütt, a levegőben, a vízben és a vegyszerekben is jelen vannak.

Az utolsó, „A mikroszennyező- és mikroműanyag-mentes víz előállítására szolgáló technológiák különböző nyersvizek esetén (ivóvíz, kútvíz)” című fejezetben a szerzők az ivóvízszennyezés enyhítésére tett erőfeszítéseket elemzik. Sajnos még nincs mikroműanyag-mentes vízelőállítási technológia. Megnyugtató azonban, hogy a csapvízben a mikroműanyag-részecskék mennyisége általában csekély, így a jelenlegi ivóvízkezelés többnyire megfelelő, a jövőben a membrántechnikák alkalmazásának bővülése, a kombinált eljárások bevezetése várható. A szennyvíztisztítás hatékonyságának javítása szükséges, mivel szennyvízzel jelentős mennyiségű mikroműanyag-részecske kerül a felszíni vizekbe.

A „Felhasznált irodalom” bőséges és naprakész, a legújabb nemzetközi szakfolyóiratokban megjelent közlemények mellett a klasszikus könyvek és cikkek, valamint a magyar nyelvű irodalom is idézett a nagyszámú internetes forrás mellett.

✱

Berta Renáta et al. (2022). *Mit is iszunk? Mikroműanyag-problémák, jelenlegi helyzet*. Digitális könyv. Budapest: Akadémiai Kiadó.

Tombácz Etelka

tudományos tanácsadó
Pannon Egyetem Soós Ernő Kutató-Fejlesztő Központ,
Nagykanizsa

Bélafiné Bakó Katalin – Székely Katalin szerkesztők *Gázelegyek membrános elválasztása*

Az elválasztási technikákat kicsit mindig a titokzatosság vette körül: adott egy külsőleg azonosan vagy nagyon hasonlóan kinéző anyag, amit legkülönbözőbb megoldásokkal, az anyagok az emberi szem számára legtöbbször láthatatlan tulajdonságai alapján szétválasztanak, vagy legalább megmondják, melyik anyagból mennyit tartalmaz. Közülük talán a membrános szeparációkat veszi körül a legnagyobb sejtelmesség: valamilyen hajtóerő hatására szelektív transzport megy végbe a membránon keresztül, és megtörténik az elválasztás. A megállapítás különösen áll a membrános gázszeparációra, melynek alapja pórusos membránokkal történő megvalósításakor a már az 1850-es években felfedezett Graham-féle diffúzió.

A MeRSZ, az Akadémiai Kiadó online okoskönyvtár sorozatában 2024-ben megjelent munka Bélafiné Bakó Katalin és Székely Katalin szerkesztésében foglalja össze a legfontosabb tudnivalókat a gázelegyek membrános szétválasztásáról, és segít elosztatni a meglevő kételyeinket. A könyv áttanulmányozása után rájövünk, hogy egyszerű természeti törvények tudatos alkalmazása áll a jelenségek mögött. A tíz fejezetre tagolt mű egyes témáit kiváló, nagy tapasztalattal rendelkező, idehaza és külföldön egyaránt elismert oktatók, szakemberek, a veszprémi Pannon Egyetem Mérnöki Karának dolgozói, valamint nagy gyakorlattal rendelkező ipari (MOL Nyrt., Magyar Cukor Zrt.) szakemberek dolgozták fel.

A könyv felépítése logikus, a szerzők a szakmai precizitásból nem engedve igyekeztek közérthetően bemutatni a tudnivalókat. Ahogy Janáky Csaba, a Megújuló Energiák Nemzeti Laboratórium szakmai társvezetője a „Bevezető”-ben írja: „Számos eljárás esetében az elválasztási-tisztítási lépések költségigénye összemérhető a fő technológiai lépés költségével. Nincs ez másként a feltörekvő, körforgásos, fenntartható technológiák területén sem.” Ezek a mondatok jelzik, hogy a szóban forgó eljárás korunk fontos, a mindennapi életünket érintő feladatok megoldására kínál megoldásokat, és a gázszeparációs membrános eljárás lényegének megértésével tudatosul bennünk, hogy egy egyszerű, környezetbarát, kis energiaigényű eljárással van dolgunk.

A könyvben egy rövid történeti áttekintést követően megismerkedhetünk a gázszeparáció alapjaival: a már említett, Graham-féle diffúzió alapuló membrános gázszeparáció pórusos membránokon keresztül valósul meg, a pórusmentes membránokon történő elválasztás hajtóereje alapvetően a koncentrációgradiens.

Ugyancsak az alapokhoz tartozik a transzportfolyamatok rövid áttekintése. Membránra mindenképpen szükség van, ezért a szerzők egy fejezetet szentelnek azok előállításának, amiben ismertetik a legfontosabb polimerkémiai tudnivalókat is. Itt kell megemlíteni a támasztóréteges folyadékmembránokkal foglalkozó fejezetet is, ahol beszámolnak új ionos folyadékok erre a célra való alkalmazásáról és az elért

kiváló eredményekről (megnövelt szén-dioxid-permeabilitás a hidrogénéhez képest 5–8-szoros, míg a nitrogénéhez viszonyítva akár 30-szor nagyobb).

A két- és többkomponensű gázelegyek szeparációjával foglalkozó fejezet tartalmazza a legfontosabb és legizgalmasabb megállapításokat: a membrán tulajdonságait befolyásoló paraméterek vizsgálatát, az eljárás hatékonyságát fokozó többlépcsős rendszereket, és vázolja a fejlesztési lehetőségeket.

Kitérnek a membrános gázszeparáció elméleti modellezésére, ami viszonylag egyszerűen elvégezhető, ha néhány feltétel teljesül: ideális gázokkal dolgoznak, a membrán mindkét oldalán tökéletes keveredés áll fenn, elhanyagolható a diffúziós határréteg ellenállása, állandó a hőmérséklet stb. A kutatás szempontjából izgalmas, a gyakorlati megvalósítást illetően azonban kihívásokkal teli az az eset, amikor a gázelegy viselkedése eltér az ideálistól (számolni kell a diffúziós határréteggel, az egyes komponensek befolyásolják egymás szeparációját, vagyis egy adott gázkomponens permeációs jellege nem állandó). Tárgyalják a Joule–Thomson-hatást is, azt a különleges jelenséget, ahogy a gáz a membránon áthatolva kitágul. Az ilyen jellegű adiabatikus táguláskor az ideális gázok hőfoka állandó marad, a valódiaké azonban nagymértékben változhat. S ez a hőmérséklet-változás erősen befolyásolhatja a permeációs tulajdonságokat, ami különösen a szén-dioxid esetében szembetűnő.

A gázdifúziós módszer alkalmazása az uránizotópok szétválasztására még a második világháború idejére nyúlik vissza. Manapság más célokat szolgál ez a környezetbarát, kevés energiát igénylő és egyre megbízhatóbbá váló eljárás. Az alkalmazások között a szerzők bemutatják a hidrogén és a szén-dioxid elválasztását H_2 -szelektív és CO_2 -szelektív polimer membránokkal, hozzájárulva így egy bioüzemanyag, a biohidrogén tiszta formában történő előállításához. A legnagyobb és legelterjedtebb alkalmazás a levegő szétválasztása, manapság a nitrogén előállítása már szinte kizárólag membrános technikával történik. A membrános eljárás lehetővé tette az úgynevezett on-site egységek telepítését, vagyis a nitrogént a felhasználás helyszínén tudják előállítani a megfelelő kapacitással. A szeparáció esetében az üzemeltetési költség legnagyobb hányadát az energiaköltség adja, mégis, a költségelemzések a membrános gázszeparáció előnyét mutatják a hagyományos eljárásokkal szemben.

További gyakorlati példa a metántartalmú gázelegyek „savtalanítása”, vagyis szén-dioxidtól történő megszabadítása a földgáz kitermelésénél, illetve a biogáz előállításánál. Az illékony szerves vegyületek kinyerése az egyes ipari folyamatokban keletkező hulladékok fontos szeparációs eljárása. Ezek szeparációja nemcsak egészségügyi, környezetvédelmi és biztonságtechnikai szempontból elengedhetetlen, de visszanyerésükkel újrafelhasználható alapanyaghoz jutunk. A levegő páratartalmának csökkentésére irányuló szeparációt rendkívül sok helyen használják, elég, ha csak a repülőgépek utasterének megfelelő levegőellátását említjük. Különös figyelmet érdemel a már sok éve működő magyarországi cukorgyárnál előállított biogáz membrános tisztítóberendezésének bemutatása, a megszerzett tapasztalatok ismertetése.

A kiadvány hiánypótló munka. Betölti azt az űrt, ami a hazánkban eddig magyar nyelven megjelent, egyetemi jegyzetnek tekinthető kiadványok alapvető ismereteket

tárgyaló munkái és az elmélyült tudományos eredményeket közlő kiadványok között tatongett. Dicséret illeti a könyv szerkesztőit és valamennyi szerzőjét, mert megtalálták az egyensúlyt a szakmaiság és az érthetőség között. Jó szívvel ajánlom a könyvet egyetemi hallgatók és kutatók számára egyaránt, mert egy időszerű témával foglalkozó, szakszerűen megírt, de az adott területtel eddig nem foglalkozó olvasó számára is hasznos, érthető munka. Alkalmas a korábbi ismeretek felelevenítésére, de új feladatok megoldásához is ötleteket adhat.

✱

Bélafiné Bakó Katalin – Székely Katalin, szerk. (2024). *Gázelegyek membrános elválasztása*. Budapest–Veszprém: Akadémiai Kiadó – Pannon Egyetemi Kiadó, 134 o.

Gubicza László

DSc, professor emeritus,
Pannon Egyetem Mérnöki Kar, Veszprém

Peter Polčic és munkatársai
Klasické experimenty v biochémií
(Klasszikus kísérletek a biokémiában)

A pozsonyi Comenius Egyetem gondozásában 2023-ban megjelent könyv egy érdekes kísérlet a biokémia népszerűsítésére. A népes szerzőgárda tagjai egy kivételével az Egyetem Biokémiai Tanszékének és Genetikai Tanszékének a munkatársai. A szerkesztők: Peter Polčic, Marek Mentel és Jozef Nosek a biokémia és molekuláris biológia nagy tapasztalatokkal rendelkező oktatói és a szakterületük nemzetközileg elismert kutatói.

A könyv bevezetőjéből kiderül, hogy a szerzők szándéka olyan kísérleti problémamegoldások bemutatása, amelyek áttörő felismerésekhez vezettek és ma már klasszikusnak tekinthetők a rohamosan fejlődő biokémia tudományában. A klasszikus jelzővel azonban lehet egy kicsit vitatkozni, hiszen történelmi léptékben a közelmúlt eseményeiről van szó. A könyvben bemutatott vagy említett kutatók közül sokan szerencsére még ma is köztünk vannak.

A kötet szerzői nem törekedtek a biokémiai kutatások valamennyi „klasszikus” csúcsteljesítményének bemutatására. A szándékuk nem a teljesség volt, ami egyébként vitatható is lehetne, hiszen a biokémia rendkívül szerteágazó tudomány, és minden ágának megvannak a maga „klasszikus” kísérletei. A teljességre történő törekvésnél az is nehézséget okozhatna, hogy a biokémia erősen érintkezik más molekuláris diszciplínákkal, és a felfedezések sokszor tekinthetők inkább interdiszciplinárisnak, mintsem tisztán biokémiaiainak. Az interdiszciplinaritás abban is tükröződik, hogy a megítélt Nobel-díjak megoszlanak a kémia és az élettan- orvostudomány között.

A biokémiai kutatások szempontjából meghatározónak tekinthető „klasszikus” kísérleti teljesítményekből kiválasztottak huszonhatot annak bemutatására, hogy a biokémia szépsége nemcsak abban rejlik, hogy az életet lehetővé tevő molekuláris folyamatokat vizsgálja, hanem abban is, hogy a nagyon sokféle kutatási célt nagyon változatos kísérleti stratégiákkal és módszerekkel lehet elérni. Szándékuk volt az is, hogy érzékeltessék az olvasóval, hogy a probléma megoldásához vezető út nem mindig nyílegyenes. Gyakoriak a kísérleti zsákutcák, váratlan (látszólag érthetetlen) eredmények és tévedések. Sokszor a véletlenek segítenek. Ezek a bonyodalmak riasztólag hathatnak egy pályakezdő kutatóra, viszont biztató lehet, hogy számos esetben éppen az előre nem tervezett bonyodalmak vezettek áttörő felismerésekhez és felfedezésekhez. A szerzők reményüket fejezik ki a könyv bevezetőjében, hogy a bemutatott történetek felkeltik az olvasók érdeklődését a biokémia mint kísérleti tudomány iránt, elgondolkoztatják őket a kutatómunka szépségéről és lelkesítően hatnak a tudományos kutatás leendő művelőire.

Nagyon gondosan szerkesztett, egységes szerkezetű könyvről van szó. Minden fejezet a megoldandó kérdés felvázolásával kezdődik, majd a megválaszoláshoz vezető, sokszor évtizedeken átnyúló kísérletsorozat bemutatása következik, kihangsúlyozva a kísérleteket elvégző kutatók hozzájárulását. Közülük kiemelve azt a kutatót, aki egységbe fogta a felhalmozott ismereteket és elvégezte azokat a kísérleteket, amelyek végül elvezettek a döntő felismeréshez. Ez a megközelítés rendkívül szimpatikus, mert érzékelteti, hogy a nagy felfedezések sosem születnek a semmiből. Az egyetemi oktatás hajlamos egy-egy felfedezés kapcsán csak a Nobel-díjas nevét említeni, gyakran megfélekezve a többiekéről, akik nélkül a Nobel-díj nem születethetett volna meg. Mintha a gótikus boltívet csak a zárókövet elhelyező kőműves építette volna.

Rendkívül olvasmányossá teszi a könyvet a kulcsszerepet játszó kutató(k) életrajzának bemutatása, a családi háttértől kezdve, a szakmai szempontból meghatározó fiatalkori élményeken, benyomásokon keresztül az érett kutatóig. Ezt követi a kutatói pályafutás sikereinek és kudarcainak a leírása, kihangsúlyozva az egyes kutatóhelyeken szerzett tapasztalatok, benyomások hatásait a felfedezéshez vezető úton. Minden fejezet elején láthatjuk e kutatók fényképét és felettük a legfontosabb közleményük bibliográfiai adatait. Az életrajzba beágyazva fokozatosan eljut az olvasó a „klasszikus” kísérlet(ek) leírásához, közérthető módon, a mélyebb szakmai jártasságot igénylő szakzsargon elkerülésével. Minden fejezet néhány elgondolkodásra ajánlott kérdéssel zárul.

A klasszikus kísérleteket öt fejezetre osztva mutatja be a könyv: „Enzimek”, „Proteinek”, „Nukleinsavak”, „A metabolizmus szabályozása” és „Bioenergetika”. Ebből a felosztásból is látszik, hogy nem törekszik a biokémia teljes lefedésére.

Az „Enzimek” fejezet öt alfejezete nyúlik vissza leginkább a kezdetekig. Például az élesztők erjedésben betöltött szerepének tanulmányozásához, ami a 19. században kezdődött, és elvezetett az enzimek létének bizonyításához. A második fejezetben szó esik a fehérjeszekvenálásról, a prionokról, a medúzák fluoreszkáló fehérjéről és a kíméra ellenanyagokról. A harmadik fejezet a nukleinsavaké: a kettős-hélix, az RNS, a polimerázok és a ribozimek. A negyedik fejezet a regulációról szól: a hormonok mint regulátorok, a cAMP, a glutation, a koenzim-A, a koleszterol szintézise, a citrát-kör és elemeinek szabályzó szerepe és a vitaminok. Az utóbbiak esetében kihangsúlyozva a paprikát és a C-vitamint. Az utolsó fejezetben bioenergetikai vonatkozású, klasszikusnak számító kísérletek kerülnek bemutatásra. Például a kemoozmotikus elmélet, az ATP szintézise, az ATP-szintáz, az oxidatív foszforiláció és a nátrium-glukóz kotranszport.

Érthető módon a szerzők megemlítenek szlovák vonatkozásokat is. Például a prionok felfedezésében meghatározó szerepet betöltő Nobel-díjas Daniel Carleton Gajduseket, aki ugyan az USA-ban született, de az apja szlovák, az anyja pedig magyar emigráns volt és a Comenius Egyetem díszdoktora. Másik példa Ladislav Kováč, ennek az egyetemnek a professzora, aki jelentős mértékben hozzájárult a mitokondriummal kapcsolatos energianyerési folyamatok megismeréséhez.

Magyar tudósok is szerepet kapnak a könyvben. Egy fejezetet a paprika vitaminjának és a Nobel-díjas Szent-Györgyi Albertnek szentelnek a szerzők. A „Bioenergetika” fejezetben részletesen leírják, miként fedezte fel, természetesen másokkal együttműködésben, Müller Miklós a hydrogenoszómákat, a kettős membránnal határolt sejtszervecskéket, amelyek molekuláris hidrogént állítanak elő, és valószínűleg a mitokondriumok egyszerűsödésével jöttek létre az anaerob körülményekhez való alkalmazkodás során. Rajtuk kívül utalás történik T. Z. Csáky és George (György) Némethyre. Az utóbbi részt vett az alloszterikus változások szerepének felismerésében a fehérjék aktivitásának szabályozásában. A könyvben nincs megemlítve, mert a tudomány számára nem releváns, hogy Némethy György egy évtizeden keresztül a Külföldi Magyar Cserkészszövetség elnöke is volt.

A könyv hamar népszerűvé vált az egyetemi hallgatók és a középiskolások között, jelentős mértékben az olvasmányossága miatt. Nem tankönyvnek készült, de színesen kiegészíti a tankönyvek sokszor meglehetősen száraz, a tudományos tények bemutatására koncentráló stílusát, amivel könnyebbé teszi az ismeretek elsajátítását. Érdekes történetekhez köti a tudományos tényeket, amiktől azok „emberközelibbé”, könnyebben megérthetővé és izgalmasabbá válnak. Követésre érdemes példa.

✱

Polčic, Peter – Mentel, Marek – Nosek, Jozef, akolektív (2023). *Klasické experimenty v biochémií*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, 2023, 315 o.

Sipiczki Máttyás

egyetemi tanár,
Debreceni Egyetem Genetikai és Alkalmazott Mikrobiológiai Tanszék, Debrecen