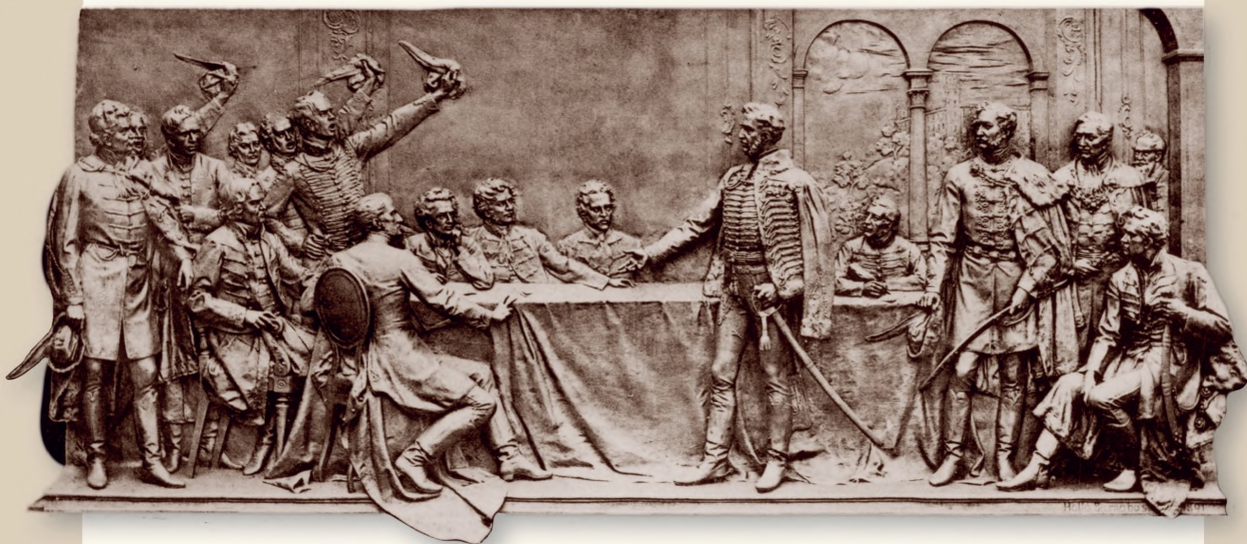


MAGYAR TUDOMÁNY

Falus András és munkatársai
A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
BOIOLÓGIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
ÜNNEPI ÖSSZEÁLLÍTÁSA

Acsády Judit és munkatársai
RENDSZERSZINTŰ
KÜLÖNBSEGEK FÉRFI ÉS NŐI
KUTATÓK PÁLYAÍVÉBEN



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 és Biró Csilla

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 20,02 (A/5) ív terjedelemben

TARTALOM

BICENTENÁRIUMI ÖSSZEÁLLÍTÁS

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA BIOLÓGIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK ÜNNEPI ÖSSZEÁLLÍTÁSA

Vendégszerkesztő: Falus András

Falus András

Bevezetés 1659

Garamszegi László Zsolt – Botta-Dukát Zoltán – Molnár Zsolt – Valkó Orsolya – Lövei Gábor

Ökobiztonság: tudományos és gyakorlati prioritások
a fokozódó biológiai invázióval kapcsolatban 1663

Páll-Gergely Barna – Csabai Zoltán

Határozási krízis: lejtmenetben az állatvilággal kapcsolatos tudásunk 1675

Balogh Péter – Nagy Nándor

A perifériás nyirokszövetek fejlődésbiológiai
útjai és útvesztői – párhuzamok és eltérések 1684

Orosz Ferenc

75 év a magyar molekuláris élettudomány szolgálatában
Az MTA első kutatóintézetének története 1694

Szabó Gábor

George Klein (1925–2016) ars poeticája 1705

Bakács Tibor

Eva Klein, a tumorimmunológia anyja (1925–2025) 1718

Erdei Anna – Falus András

100 éve született Gergely János, a hazai immunológusiskola megteremtője 1729

KÜLHONI BIZOTTSÁGOK

Csányi Erzsébet

A Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács – retrospektív fényben
A VMAT története és a vajdasági magyar tudományosság 1737

TUDOMÁNYHÓNAP

Sólyom Jenő

2025. szeptember a fizika hónapja az Akadémián
Bemutatkozik az Akadémia XI. Osztálya – az MTA200 szeptemberi programjai 1753

TEMATIKUS ÖSSZEÁLLÍTÁS

RENDSZERSZINTŰ KÜLÖNBSÉGEK FÉRFI ÉS NŐI
KUTATÓK PÁLYAÍVÉBEN: ELEMZÉSEK ÉS AJÁNLÁSOK
A HÁTRÁNYOK LEKÜZDÉSÉRE

Vendégszerkesztő: Acsády Judit

Acsády Judit

Bevezető 1766

*Toldy Andrea – Lázár Zsófia – Barta Veronika – Wilhelm Imola – Gselmann Eszter –
Vida Zsófia Viktória – Kovács Karolina Eszter – Solymosi Katalin*

A női kutatók helyzete Magyarországon és az Európai Unióban
Javaslatok a pályázati kedvezményrendszer méltányosabbá tételére 1768

Kaptay György – Palotás Árpád Bence

Női és férfi kutatók tudományos eredményességének időfüggése az MTMT szerint 1794

Kurutzné Kovács Márta

Egy konferencia margójára

*A gyermek, a család és a nemzet oltárán feláldozott alkotói éveket
a női kutatóknak vissza kell kapniuk*

1807

TANULMÁNYOK

Sasvári Péter – Lendvai Gergely Ferenc

A kutatás „sikermoddellje”: a Francia Nemzeti Tudományos Kutatási Központ tudományos teljesítménye az Európai Kutatói Tanács pályázatok elnyerésének tükrében

1811

Duda Ernő

Palackba zárt üzenetek

1829

Forgács-Dajka Emese – Kovács Tamás – Góra-Gálik Barbara

A tároló jellegű neurális hálózat alkalmazhatósága a napaktivitás előrejelzésében 1842

Benedek Zsófia – Kujáni Katalin – Molnár Judith

Kis léptékű betakarítás utáni stratégiák

1855

TUDÓSPORTRÉ

Nagy Béla

Aujeszký Aladár, a magyar állatorvosi mikrobiológia első nemzetközileg elismert mestere és az emlős háziállatok új vírusos betegségeinek felismerője

1863

KÖNYVSZEMLE

Kubinyi Enikő

Judit Abdai – Ádám Miklósi szerkesztők

An Introduction to Ethorobotics: Robotics and the Study of Animal Behaviour

(Bevezetés az etorobotikába: robotika és az állatok viselkedésének tanulmányozása) 1868

Kovács Mihály – Málnási-Csizmadia András – Nyitray László

Gráf László

*Dörgicsétől Karachiig**A trilógia befejező kötete. Emlékkönyv* 1870*Falus András*

John Rasko – Carl Power

*Élet-re-generálva**Történetek az összejtgyógyászat rögzös újáról*

(Flesh Made New) 1872

Varga Máté

Beth Shapiro

Life as We Made It

(Élet, ahogyan mi alakítottuk) 1875

BICENTENÁRIUMI ÖSSZEÁLLÍTÁS

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

Vendégszerkesztő: Falus András

Bevezetés

Introduction

Falus András

az MTA rendes tagja, Semmelweis Egyetem Genetikai, Sejt- és Immunbiológiai Intézet, Budapest
afalus@gmail.com

A Magyar Tudományos Akadémia Biológiai Tudományok Osztálya (az MTA VIII. Osztálya) sokszínűségét bizonyítja, hogy az Osztály tagjai több dimenzióban és a biológiai valóság lényegében teljes kaleidoszkópjában fejtik ki tudományos tevékenységüket. Az akadémikusok széles szakmai spektruma az Osztály közös gondolkodásának szintetikus rátekintését eredményezi az életjelenségek, az élő környezet megismerésében és a felmerülő kérdések, problémák értékalapú megítélésében. Az Osztály tudományos meritumának teljessége valóban alkalmassá teszi, hogy mint a „nemzet tanácsadója” tudományos illetékessége határai között állásfoglalásaival, véleményével, figyelemfelhívásaival az egész társadalom számára biztonságos és felelős szellemi segítőtárs legyen.

A Biológiai Tudományok Osztályának minden tagja és közgyűlési képviselői napi megnyilvánulásaikkal bizonyítják, hogy mások mellett az Osztály által is képviselt élő természettudományoknak hihetetlenül gazdag tartalékai vannak, amelyek hozzájárulhatnak a rövid, közép- és hosszú távú társadalmi, oktatási és nemzetgazdasági célkitűzések kijelöléséhez.

A *Magyar Tudományban* megjelenő tematikus összeállítás is ezt a felelős, a nemzetközi tudományra figyelmes, kreatív nevelési-oktatási elkötelezettséget bizonyítja. A tudományos hagyományok, eltávozott nagyjaink letisztult üzeneteire figyelő alapok éppen a jövőre tekintő, a valódi modernitás perspektívájának kijelölésében adnak segítséget.

Az összeállításban bemutatott témák mindegyike szakmailag időszerű és megközelítésében rálátó koncepció alapján kíván aktuális bepillantást nyújtani olvasói teljes vertikuma számára.

Garamszegi László Zsolt (HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont) és munkatársai (Botta-Dukát Zoltán, Molnár Zsolt, Valkó Orsolya és Lövei Gábor) közleményükben az ökobiztonság és a biológiai invázió sürgető jövőképre hívják fel a figyelmet. A globalizációs folyamatok hatására fokozódó transzporttevékenységek és környezeti változások révén számos idegenhonos élőlény jut hazánkba, módosítva a Kárpát-medencei ökoszisztémáinkat, egészségünket és élelmiszer-termelésünket. Mindez természetesen nem áll meg a határoknál, mert a nem kívánt változások esetenként negatívan módosíthatják a növényi, állati, emberi és ökoszisztéma-egészséget, sokrétűen formálják át Földünk bioszféráját, amitől végső soron az emberiség jólléte függ. A folyamat általános jelentőségét hangsúlyozva a szerzők proaktív felkészülést és beavatkozási utakat tárgyalnak az ökológiai folyamat lassíthatósága és a káros hatások mérsékelhetősége érdekében.

Végeredményében és hatásában hasonló kérdést taglal Páll-Gergely Barna (HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont) és Csabai Zoltán (Pécsi Tudományegyetem) közleménye, amely az állatvilágra és a rendszertani komplexitásra vonatkozó szakmai tudás jelentős beszűkülésével járó veszélyekre hívja fel a figyelmet. A fajgazdagság dimenziójához képest egyre kevesebb szakember áll rendelkezésre, és ez a Garamszegi László Zsolt által felvetett inváziós probléma mérséklését is negatívan érinti. Megdöbbentő példa a megfelelően képzett szakemberek hiányára, hogy Páll-Gergely Barna és Csabai Zoltán cikke szerint a hazánkban élő mintegy 36 000 állatfaj közül 15 274 fajnak (42,5%) egyszerűen nincsen hazai szakértője. A szerzőket idézve nyilvánvaló, hogy „A körülöttünk lévő természetről meglévő tudásunk csak akkor maradhat fenn és akkor gyarapodhat, ha az élőlényeket ismerő kutatóknak állása, megélhetése, jövője biztosítva lesz” (Páll-Gergely–Csabai 2025).

Balogh Péter (Pécsi Tudományegyetem) és Nagy Nándor (Semmelweis Egyetem) közleménye az immunológia és fejlődésbiológia határterületére vezeti az olvasót. A közlemény a másodlagos nyirokszövetek törzs- és egyedfejlődését mutatja be rendkívül korszerű, mikroanatómiai és molekuláris szabályozási megközelítéssel. A másodlagos nyirokszövetek (például nyirokcsomók, lép, bőr, nyálkahártyák) az a tér, ahol a csontvelőben és a csecsemőmirigyben (mint elsődleges immunszövetekben) „nevelt”, szöveti és szövetközi migrációban lévő immunrendszer találkozik az immunrendszert stimuláló anyagokkal (antigénekkal), tehát ez az immunválasz központi tere. Bizonyos gyulladásos kórképeknél (például ízületi betegségeknél) harmadlagos immunszövetekről is beszélünk. Balogh Péter és Nagy Nándor a legújabb citokin- és génszabályozó hálózatok, valamint sejt–sejt kölcsönhatások bemutatásával bizonyos betegségek kóreléttani elemzéséhez és lehetséges gyógyításához adnak korszerű támpontot.

Ritka kivétellel az életjelenségeket vizsgáló természettudományok több kutató szoros, egymást kiegészítő teammunkáját kívánják meg. A tudományos kutatás köz-

pontjai azok az intézetek, kutatóhelyek, amelyek a kutatók kritikus tömegét képesek foglalkoztatni.

Orosz Ferenc (HUN-REN TTK Molekuláris Élettudományi Intézet) cikke a szerző most 75. születésnapját ünneplő munkahelyének történelmi evolúcióját mutatja be. A korábban a több néven is ismert (például MTA Enzimológiai Intézet) központ, amely 69 évig az MTA égisze alatt működött, minden hazai molekuláris biológiával foglalkozó kutató egyik szent Mekkája volt. A Karolina úti épület korábban főleg fehérjekutatásokról, majd egyre inkább molekuláris biológiai vizsgálatairól vált híressé. Orosz Ferenc cikkében egy fantasztikus kutatói névsort olvashatunk, legtöbbször közöljük minden magyar biológus számára tanítói, kutatói szinten is kiemelkedő emberi élményt jelentettek. A cikk, bemutatva az Intézet vezető kutatóit, fő témáit, kollaborációs nyitottságát, egyúttal tudománytörténeti szempontból is kiemelkedő olvasási élményt jelent.

A tematikus összeállítás utolsó részében három olyan magyar tudományos nagyság életének, pályájának bemutatása található, akik idén lettek volna 100 évesek. A Klein házaspár, György (1925–1916) és Éva (1925–2025), valamint Gergely János (1925–2008) egyetemi évfolyamtársak és egész életükben is nagyon jó barátok voltak, megtiszteltetés rájuk gondolni és róluk írni. Ezeket a közleményeket közvetlen tanítványok írták, ezért nem meglepő, ha túl a szakmai értékelésen szubjektív, esetenként megindítóan lírai mondatokat is olvashatunk.

Szabó Gábor (Debreceni Egyetem) cikkének címe: „George Klein (1925–2016) ars poeticája”. Klein György (George) szakmai értelemben sejtbiológus, immunológus, rákkutató volt, de mint esszéíró is sok alkotás fűződik a nevéhez. Hivatalból a Karolinska Intézet Tumorbíológiai Intézetének alapítója és igazgatója, egyúttal egy maga teremtette szakmai-intellektuális world-wide-web szellemi központja volt. Klein György 35 éven át a fiziológiai és orvostudományi Nobel-díj-bizottság titkáráként is tevékenykedett. Egyik legjelentősebb tudományos felismerése a daganatsejt-variánsok véletlenszerű keletkezésére vonatkozik. Legnagyobb hatású szakmai sikere talán a kromoszóma transzlokációk és onkogén aktiváció összefüggésének felismerése volt. Feleségével együtt Klein György igazi reneszánsz ember volt, szépirodalmi rangú, nagy sikerű, több nyelvre lefordított esszéket is írt, változatos társadalmi, emberi, művészeti témákban, életről, halálról, a kreativitásról és az azt korlátozó feudális viszonyokról, saját életéről, Rilke, József Attila vagy Babits költészetéről. Szabó Gábor idézi Klein Györgytől egy ma is nagyon aktuális gondolatot: „Az irracionalitás szüntelen háborút vív a racionalitással. A babonáság újabb és újabb változatai kürtölik világgá vagy szivárogtatják szét tanításait a modern technológia eszközeivel.” (Klein 2001)

Bakács Tibor (HUN-REN Rényi Alfréd Matematikai Kutatóintézet) így ír Klein Éváról: „Eva Klein, a tumorimmunológia anyja”. Klein Éva elsősorban tumorimmunológiai kutatással foglalkozott. Nevéhez fűződik az úgynevezett természetes öölsejtek (NK) jelentőségének felismerése a tumor elleni védekezésben. Egyik alapvető jelentőségű felfedezése a tumorok átültethetőségére és a vírusok indukálta tumorok, a daganatok antigénjeinek jellemzése volt. Nagy szerepe (illetve férjével együtt

szerepük) volt egy amerikai kutatóval (néhai Stanley Gail Nathenson) közösen a T-limfocitákat gátló negatív kostimulációk és a későbbi „checkpoint inhibitorok” elleni tumorterápia kidolgozásában, amiért James P. Allison és Tasuku Honjo 2018-ban Nobel-díjat kaptak.

Erdei Anna (MTA) és Falus András (Simmelweis Egyetem) néhai mentorukról, Erdei Anna esetében tanszékvezető elődjéről, Gergely Jánosról emlékeznek. Minden túlzás nélkül állítható, hogy Gergely János valóban a modern magyar immunológiai kutatás és iskola megteremtője volt. Ő alapította az első hazai Immunológia Tanszékét az ELTE-n, az egyetem alsógödi Biológiai Kutatóállomásán, amely hamarosan nemzetközi hírnévre tett szert. Gergely János nagy sikerű nemzetközi konferenciákat szervezett, és évekig az Európai Immunológiai Társaságok Szövetségének (European Federation of Immunological Societies, EFIS) elnöke is volt. Gergely Jánosnak kulcs szerepe volt a nagy sikerű Bolyai János pályázati rendszer létrehozásában az MTA-n, és 1990–1996 között osztályelnöke is volt a Biológiai Tudományok Osztályának.

Tanár Úrnak neveztük, mert a szó legteljesebb értelmében, kutatói intelligenciájában és emberi kvalitásaiban a tanárunk volt. Magával ragadó személyisége, egy új világot feltáró, kiváló előadásai, a tudomány iránti szeretete, derűs egyénisége sokunkat vonzott az immunológia területére az 1970-es és 1980-as években.

Az MTA Biológiai Tudományok Osztálya által összeállított tematikus blokkot idézettel zárom: „ha »életről« beszélünk, meg kell mondanunk, hogy mit is értünk rajta, mert mást-mást ért *élet*-en a természettudós, a filozófus és a költő. [...] Magam teljes joggal csak mint természettudós beszélhetek, de bennem is él valamennyire a költő és filozófus, és én szót adok nekik is, de hogy zavar ne legyen, külön-külön fogom megszólaltatni őket.” (Szent-Györgyi 1973, 7–8)

Irodalomjegyzék

Klein, Georg (2001). *Vak akarat és önző DNS*. Budapest: Magvető Kiadó.

Páll-Gergely Barna – Csabai Zoltán (2025). „Határozási krízis: Lejtmenetben az állatvilággal kapcsolatos tudásunk”. *Magyar Tudomány*, 186/9.

Szent-Györgyi Albert (1973). *Az élet jellege*. Budapest: Magvető Kiadó.

Ökobiztonság: tudományos és gyakorlati prioritások a fokozódó biológiai invázióval kapcsolatban

Biosecurity: Scientific and Management Priorities in the Face of Accelerating Biological Invasions

Garamszegi László Zsolt¹ – Botta-Dukát Zoltán² – Molnár Zsolt³ –
Valkó Orsolya⁴ – Lövei Gábor⁵

¹ az MTA doktora, HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont Ökológiai és Botanikai Intézet, Vácrátót;
HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont Egészségbiztonság Nemzeti Laboratórium, Budapest
garamszegi.laszlo@ecolres.hu

² az MTA doktora, HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont Ökológiai és Botanikai Intézet, Vácrátót
botta-dukatzoltan@ecolres.hu

³ az MTA doktora, HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont Ökológiai és Botanikai Intézet, Vácrátót
molnar.zsolt@ecolres.hu

⁴ az MTA doktora, HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont Ökológiai és Botanikai Intézet, Vácrátót
valko.orsolya@ecolres.hu

⁵ az MTA doktora, Aarhus Egyetem Flakkebjerg Kutatóközpont Agroökológiai Tanszék, Slagelse, Dánia;
Debreceni Egyetem, HUN-REN-DE Antropocén Ökológia Kutatócsoport, Debrecen
gabor.lovei@agro.au.dk

Összefoglalás

A Kárpát-medence természeti öröksége életminőségünk alapja, amelyet a biológiai invázió alapjaiban veszélyeztet. A globalizációs folyamatok hatására fokozódó transzporttevékenységek és környezeti változások révén számos idegenhonos élőlény jut hazánkba, fenyegetve ökoszisztémáinkat, egészségünket és élelmiszer-termelésünket. Az inváziókat megelőzni nem tudjuk, de proaktív felkészüléssel és korai beavatkozással a folyamat lassítható, és a fajok káros hatásai mérsékelhetők. Egy hatékony ökobiztonsági stratégia alapeleme az inváziós fajok és útvonalaik beazonosítása, terjedésük nyomon követése és hatásaik felmérése, melyek alapján a célzott cselekvési tervek prioritizálhatók. A természetes élőhelyek és őshonos társulások megőrzése – a megfelelő táj-, erdő-, mező-, vad-, kert- és vízgazdálkodással – segít az inváziók hatásainak tompításában. Mindez ágazatok közötti együttműködést, jó szabályozást és hatékony forrásfelhasználást igényel, de szükség van a megfelelő társadalmi érzékenyítésre is.

Abstract

The natural heritage of the Carpathian Basin forms the basis of our quality of life and is under threat from biological invasions. Increased transport activities and environmental changes resulting from globalization are introducing many alien species into our country, endangering our ecosystems, health, and food production. While invasions cannot be prevented, proactive preparedness and early intervention can slow the process and mitigate the adverse impacts of invasive species. Key elements of an effective biosecurity strategy include identifying these species and their pathways, tracking their spread, and assessing their impact, and these can be used to prioritize targeted action plans. Conserving natural habitats and native communities through appropriate management of landscapes, forests, agricultural areas, game species, gardens, and water resources will help mitigate the impacts of invasions. This requires cross-sectoral cooperation, sound regulation, and the efficient allocation of resources, as well as appropriate social awareness and engagement.

Kulcsszavak: biológiai védekezés, idegenhonos fajok, invázióbiológia, egészségbiztonság, kórokozók

Keywords: biological control, invasive alien species, invasion biology, health security, pathogens

Invázió mint ökológiai jelenség

Juhász-Nagy Pál elméleti ökológus a szupraindividuális biológia definícióját abból a *reductio ad absurdum* állításból indította, hogy minden faj előfordulhat a Föld akármelyik szegletében, bármely időpillanatban, és tetszőleges abundanciával (Juhász-Nagy 1986). A valóság ennek ellentmond, amiből két fő kérdés következik. Az első arra terjed ki, hogy milyen mértékben hamis az állítás, azaz melyek a Földön élő fajok valódi tér-időbeli mintázatai. A másik kérdés arra fókuszál, hogy miért álltak elő a dokumentált tér-időbeli mintázatok.

Az antropocén korszakban az első állítást módosíthatjuk: előbb-utóbb bármelyik faj legalább egy egyede előfordulhat a Föld egy adott pontján – és erre manapság már nem legyinthetünk, mint egy nyilvánvalóan abszurd állításra. Ez azért van, mert a fajok elterjedési területe csak kivételes esetekben fixált (például izolált szigeten élő fajok esetében), és az ember mára már a földgolyó minden szegletén jelen van. Fajunk *niche*-konstrukciós tevékenységének köszönhetően különféle élőlényeket juttat el a glóbusz egyik szegletéből bármelyik másikba az intenzív turizmus vagy kereskedelem révén, miközben a környezetét is drasztikusan átalakítja (a klímaváltozás, mezőgazdasági termelés, tájhasználat és városiasodás hatására).

A fajok új helyen való megtelepedésének fázisait az ökológia jól ismeri (Colautti–MacIsaac 2004). A faj képviselőinek egy új helyre élve el kell jutnia, ott megfelelő életkörülményeket találnia. Ha a túléléshez elég forrást talál az új környezetben, akkor a faj sikeresen szaporodik, populációjának mérete növekszik, és új élőhelyeket hódít meg. Mivel minden faj életközösségben él, és kapcsolatba kerül más fajokkal, a megtelepedés és terjedés során az új fajok a lokális életközösségekre is hatással lesznek. A fajok elterjedési területei mindig is dinamikusak, változóak voltak, de az élőhelyek földrajzi szeparációja természetes gátakat állított a fajok terjedése elé. Mára e természetes terjedési korlátokat az emberi tevékenység lebontotta: tömegével juttattuk el a különféle fajok egyedeit a Föld olyan pontjaira, melyeket saját terjedési mechanizmusaikra támaszkodva sosem értek volna el. Amikor e folyamat nem őshonos fajt érint, és a faj már előzőnlötte a tájat (ezért is hívjuk őket özönfajoknak), akkor beszélünk e faj „inváziójáról” (Lövei 1997).

Az invázió hatásai

Az özönfajok legismertebb ökológiai hatása az őshonos fajok kiszorítása, ami a globális fajkihalások 60%-ában jelentős szerepet játszik. E hatás egyrészt attól függ, hogy az inváziós faj hány egyede jut el az új élőhelyre (mekkora a propagulumnyomás), másrészt attól, hogy mekkorák az inváziós fajok eredeti és új élőhelye közötti különbségek (Gioria et al. 2023). Az inváziós fajok új környezetében sokszor nincsenek meg az eredeti élőhelyeken ható kontrollmechanizmusok, például azért, mert megszabadulnak specialista fogyasztóiktól és kórokozóiktól (hiányzó természetes ellenségek hipotézise) vagy azért, mert az őshonos zsákmányfajok nem tudnak hatékonyan védekezni az új ragadozók ellen (naiv zsákmány hipotézis). Egyes inváziós fajok hibridizációval erodálják az őshonos versenytársak genetikai állományát, és így csökkentik azok utódainak életképességét. Az inváziós fajok kompetíciós előnye az őshonos fajokkal szemben az inváziós paradoxonhoz vezet: a másutt kifejlődött, majd behurcolt faj sikeresebb lehet, mint a helyi körülményekhez evolúciósan alkalmazkodott faj. Ennek azonban nagy ára van, mind ökológiai, mind társadalmi szempontból.

Az inváziós fajok ökológiai hatása kiterjedhet a magasabb szintű ökoszisztéma-funkciókra vagy az élőhelyek állapotára is (Simberloff et al. 2013). Az újonnan megjelenő fajok olyan tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek az őshonos fajok között ritkák, így korábban kihasználatlan forrásokat tudnak hasznosítani, és alapjaiban változtatják meg a közösségek szerkezetét és működését. Az inváziós fajok kórokozókat is terjesztenek, vagy olyan mértékű gradációra, illetve predációra képesek, melyek következtében a társulások összsképe és az azokban kialakult ökológiai kapcsolatrendszerek jelentősen megváltoznak, a biológiai sokféleség és a közösségek stabilitása, ellenálló képessége csökken.

Az inváziós fajok a haszonfajokat és sok fontos ökoszisztéma-szolgáltatást nyújtó fajt is veszélyeztetnek (Botta-Dukát 2008). Ezáltal jelentősen csökkenthetik az erdő- és mezőgazdasági termelés hatékonyságát, de más ágazatok (például: közlekedés, ivóvízellátás, turizmus, katasztrófavédelem) számára is komoly kihívást jelenthetnek. Az inváziós fajok új betegségeket terjeszthetnek, allergiás reakciókat, mérgezési tüneteket válthatnak ki emberben vagy a termesztett növényekben és állatokban. Az inváziós fajok közel 10%-a, mintegy 3500 faj tekinthető gazdaságilag káros fajnak, és az ezek elleni – szinte mindig csak korlátozott mértékben és időlegesen sikeres – védekezés költsége évente 423 milliárd dollárra tehető (Roy et al. 2023). Bár a károkat okozó fajok régióként eltérnek, az inváziós kockázatok globális problémát jelentenek, és az erre fordított összeg évről évre jelentősen nő. Összességében az inváziós fajok veszélyeztetik a növényi, állati, emberi és ökoszisztéma-egészséget, komplex módon formálják át Földünk élő rendszerét, amitől végső soron az emberiség jólléte függ.

A biológiai inváziók fokozódása

Az ezredforduló környékén öt év alatt átlagosan 100–150 új növény- és rovar-, 25 puhatestű-, 15 hal-, 10 madár- és 2 emlősfaj inváziós megjelenését észlelték Európában (Seebens et al. 2017). Ezek az értékek 3–5-szörösei az 50 évvel korábbi megtelepedési rátának – és ez a tendencia csak egyre erősödik.

Az emberek és termékeik kontinensek közötti áramlása a nagy földrajzi felfedezések óta folyamatosan nő, de a 20. század közepétől mind a világkereskedelem, mind a tömegturizmus exponenciálisan növekszik, így ezzel párhuzamosan a behurcolt fajok száma is emelkedik (Hulme 2009). Az ember drasztikus tájátalakító tevékenységének következtében új terjedési útvonalak nyílnak meg az inváziós fajok előtt. A fokozódó urbanizáció is hozzájárul a növekvő trendekhez, mert az új fajok először gyakran ember által erősen átalakított helyeken, legtöbbször településeken jelennek meg, és innen terjednek tovább. A változó klíma megtelepedési lehetőséget teremthet új inváziós fajoknak, amelyek jobban alkalmazkodnak az új éghajlati viszonyokhoz (például jobban tűrik a nyári aszályt, vagy az enyhébb teleken könnyebben áttelelnek). A természetbe kieresztett vagy kiszökő házi kedvencek, vagy a kiskertekből kivaduló növények is fontos kiindulópontjai az új invázióknak. Ennek ellenére az ilyen idegenhonos fajok kereskedelme a virágkorát éli.

A legutóbbi összeírások alapján Magyarországon 85 inváziós növény- (Csiky et al. 2023) és 118 inváziós állatfajt tartunk számon (Haraszthy 2022), de e becslések nem tartalmazzák a még nem detektált eseteket, és a mikroorganizmusok nagy részét. A folyamatos növekedést figyelembe véve hamarosan több száz özönfajjal kell majd számolnunk hazánkban.

Fokozódó kihívások a biológiai invázió kezelésével kapcsolatban

Az egyre gyakoribbá váló inváziós események és azok komplex következményei hatékony védekezési stratégiát sürgetnek, melynek leghatékonyabb és legolcsóbb módja a megelőzés (Hulme 2020). Az invázió korai szakaszában, amikor a faj már megjelent, de csak kis területen, annak koncentrált irtása egy még gazdaságos lehetőség a folyamat lassítására. Ha a behurcolt faj már elterjedt, a kiirtás lehetetlenné válik, a védekezés eredménye a további térhódítás lassítása, esetleg lokális visszaszorítás lehet. Ilyenkor a védekezés már csak a káros hatások mérséklésére tud fókuszálni.

A legkézenfekvőbb védekezés tehát a megelőzés lenne, de a gyakorlat azt mutatja, hogy az inváziót maximum lassíthatjuk, hatását mérsékelhetjük, de kivédeni nem tudjuk. Ennek egyik oka, hogy az egyes fajokról legtöbbször hiányos a tudásunk, és így nem tudjuk felmérni a fenyegetettség mértékét. Az előrejelzéshez ismernünk kellene az egyes fajok pontos, országhatárokon átnyúló, aktuális elterjedését, hogy ennek ismeretében tudjuk prediktálni az inváziós események bekövetkezését és annak hatásait. Ehhez a feltérképezéshez egy olyan, nemzetközi hálózatban működtetett monitoringrendszerre lenne szükség, amely megfelelő érzékenységgel és rendszerességgel

detektálja a fajok megjelenését. Léteznek ugyan felületek (például a European Centre for Disease Prevention and Control), melyek bizonyos fajokra a megfigyelési adatokat kontinentális szinten összesítik, de a régióként eltérő mintavételi módszerek miatt ezekből tényleges elterjedési területeket rekonstruálni nehéz. A kockázatbecsléshez ráadásul számos háttértényezőt (például az érintett fajok ökológiai igényeit, az egyes országok között kialakult inváziós útvonalakat, az adott terület környezeti változóit) is ismernünk kell. Ezek hiányában az inváziós eseményekre vonatkozó predikciók általában pontatlanok. A biológiai inváziók összetett folyamatok, és kiszámíthatatlanságuk a döntéshozatalt a megelőző stratégiai intézkedésektől az inváziós esemény bekövetkezése utáni operatív beavatkozások felé tereli.

A társadalmi és gazdasági hatások feltérképezéséhez és egy hatékony cselekvési terv kidolgozásához több ágazat bevonására és időben rendelkezésre álló forrásokra lenne szükség (Masunungure et al. 2023). Tudományos vonatkozásban az ökológiai hatásokat kell megismernünk, feltárni azt, hogy az adott inváziós faj hogyan veszélyezteti természetett növényeinket, állatainkat vagy az emberi egészséget. E kérdések megválaszolása egy szélesebb körű együttműködést kíván a kutatói szférában, de gyakorlati oldalról érinti a természetvédelem, erdő- és mezőgazdaság, humán- és állategészségügy szereplőit is, sőt, az inváziós fajok elleni sikeres védekezés megkívánja a különböző szempontból érdekelt és a döntéshozók közötti diskurzust is. Ráadásul az egyes ágazatokra vonatkozó döntéseknek közvetve van egy szélesebb társadalmi vetülete is. Az egyes érintettek az invázió következményeit akár máshogy is értelmezhetik: egy faj okozhat valakinek károkat, másoknak inkább hasznot hajt, megint másoknak közömbös lehet a hatása. A helyzetet bonyolítja, hogy egyszerre több, teljesen eltérő biológiai szereppel bíró inváziós fajjal kapcsolatban kell különböző ágazati együttműködéseket kialakítani, és ezek más és más szereplők részvételét kívánják meg. Ezért a több ágazatot érintő együttműködések a gyakorlatban nehezen alakulnak ki, így az operatív lépésekre vonatkozó döntések sokszor meg sem születnek.

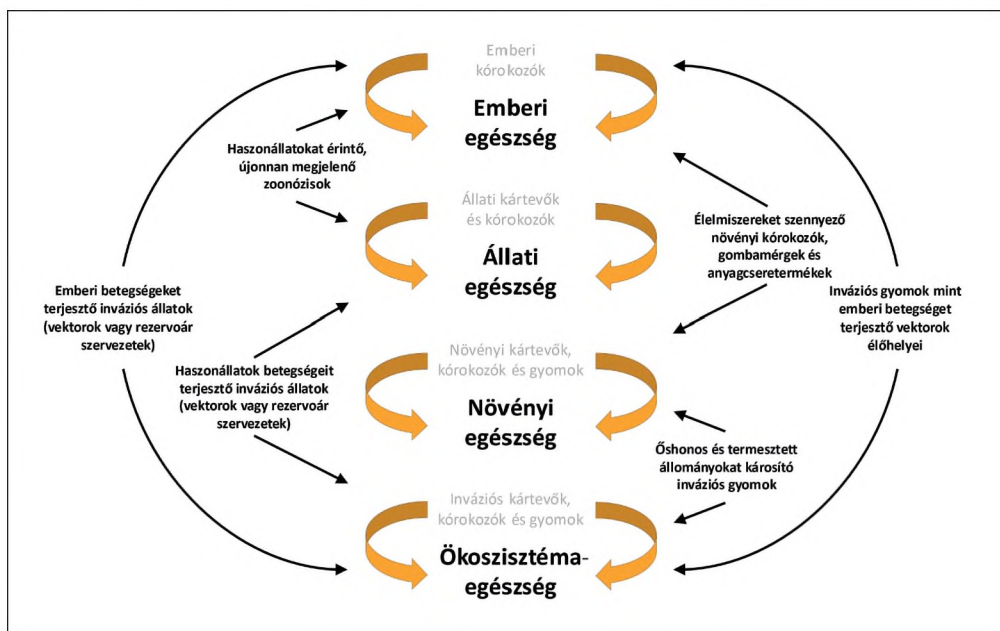
De egy kidolgozott cselekvési terv is megbukhat az érintett fajok rezisztenciája miatt (Siddiqui et al. 2023). Az inváziós növények gyérítésére tett kezdeményezések sokszor kudarcba fulladnak, mert az eltávolított példányok helyén újak jelennek meg. Máskor a szervezett irtási programok nem elég szelektívek, egyaránt érintik az őshonos és inváziós fajokat, és az így létrejött új ökológiai helyzet többnyire az inváziós faj további növekedését segíti. Gyakori tapasztalat, hogy az idegenhonos kórokozók, növények, gerinctelenek és gerincesek ellenállóak a különböző kémiai védekezési módszerekkel (például peszticidek, gombaölő szerek, gyomirtók vagy antimikrobiális szerek) szemben. A rezisztenciát erősíti az inváziós fajok nagy fokú flexibilitása is. Ennek következtében egyre több élőhelyhez vagy gazdafajhoz alkalmazkodnak, így az ökológiai toleranciájuk szélesedésével a védekezési programok elől lényegében folyamatosan megszöknek.

Az inváziós fajok elleni védekezést a társadalom közönye is nehezíti, ami olyan problémákhoz vezethet, mint az oltásellenesség a járványkezelésben (Hulme 2020). A tájtól elidegenedett emberben a megfelelő ökológiai ismeretek hiányában már nem is tudatosul a probléma, nem számol az inváziós fajok okozta károkkal, így nem is tesz

ellene. Ennek következménye a megunt házi kedvencek felelőtlen szabadon eresztése, vagy a kertépítés során az idegenhonos növények preferálása az őshonos növényeinkkel szemben. A lakosság egy része visszautasítja a hatékony, de esetleg kevésbé humánus, vagy az állatok pusztulásával járó védekezési technikákat, főleg a számukra kedves („cuki”) emlősök esetében. Ismert olyan jelenség is, hogy bizonyos ellenérdekelte csoportok önös gazdasági érdekeik miatt tiltakoznak az amúgy természeti károkat okozó özönfajok irtása ellen.

Ökobiztonság: az invázió kezelésének prioritásai

El kell fogadnunk, hogy az ember növekvő globális jelenléte és fokozódó tevékenysége következtében az inváziós események még mindig gyorsulnak, és e folyamatok egyre nagyobb mértékben fenyegetik a Kárpát-medence életközösségeit, így hazánk mezőgazdasági termelését és a lakosság egészségét is. Magyarország nemzetközi köz- és légi úthálózatba való beágyazottsága, a határátkelési pontokon alkalmazandó biztonsági ellenőrzések hiánya, az inváziós fajok veszélyeit nagyban ignoráló kereskedelmi tevékenységek és a nem megfelelő szabályozottság alapján irreális azt feltételezni, hogy hatékony védekezést tudunk kialakítani a gyakorlatban pusztán a megelőzésre támaszkodva – ami más országokban is igen korlátozott sikerrel járt. El kell fogadnunk, hogy a nem őshonos fajok megjelenését kivédeni nem lehet, legfeljebb a fo-



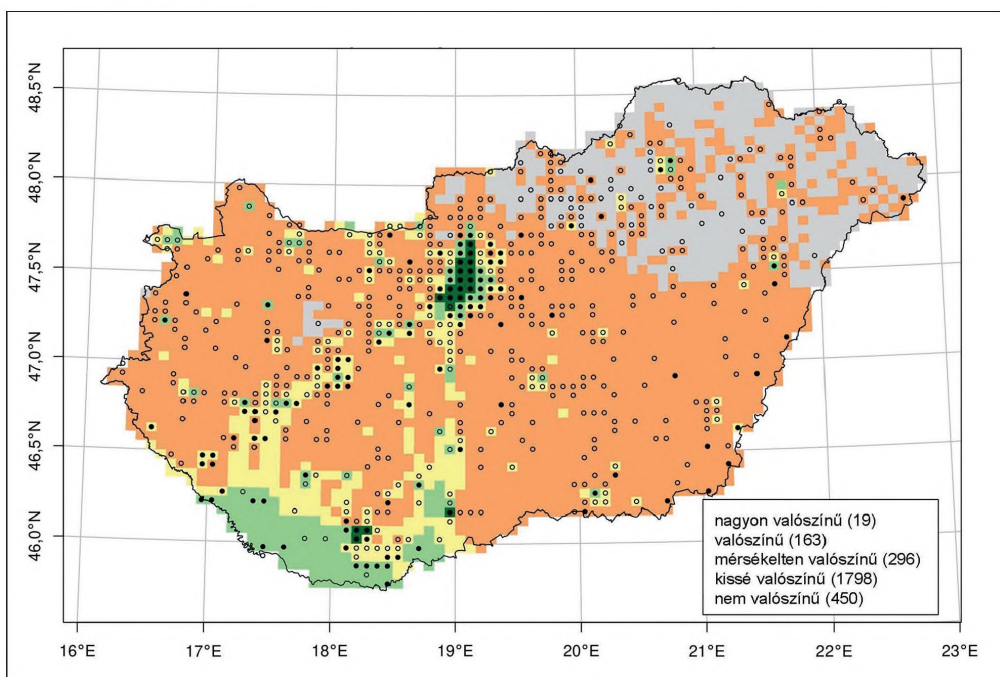
1. ábra. Az ökobiztonság-koncepció sémája. Az inváziós fajok által kialakított komplex interakciók a növényi, állati, emberi és természeti egészség között

Forrás: Hulme 2020, saját szerkesztés

lyamatot lassítani, a káros hatásokat mérsékelni és késleltetni tudjuk. Ez továbbra is proaktív fellépést kíván, melyben a megfelelő szintű felkészültségen és az erőfeszítések megtérülés alapon történő allokációján van a hangsúly.

Az inváziós fajok és az általuk generált problémák így egy átfogó, úgynevezett ökobiztonsági (*One Biosecurity*, [Hulme 2020]) megközelítést tesznek szükségessé, mely magában foglalja a környezet, a természetű növények, a háziállatok és az ember egészségét (1. ábra).

E koncepció az Egészségbiztonság Nemzeti Laboratórium Invázióbiológiai Divíziójának is a fő gondolati keretét adja, és gyakorlati vonatkozásban az alábbi feladatokra helyezi a fókusz: (1) az inváziós folyamatok nyomon követése és hatásaiak feltárása, (2) prioritási fajlisták és cselekvési tervek készítése, (3) élőhelyvédelem, (4) ágazati együttműködés, (5) társadalmi érzékenyítés és bevonás („Egészségbiztonság Nemzeti Laboratórium...”).



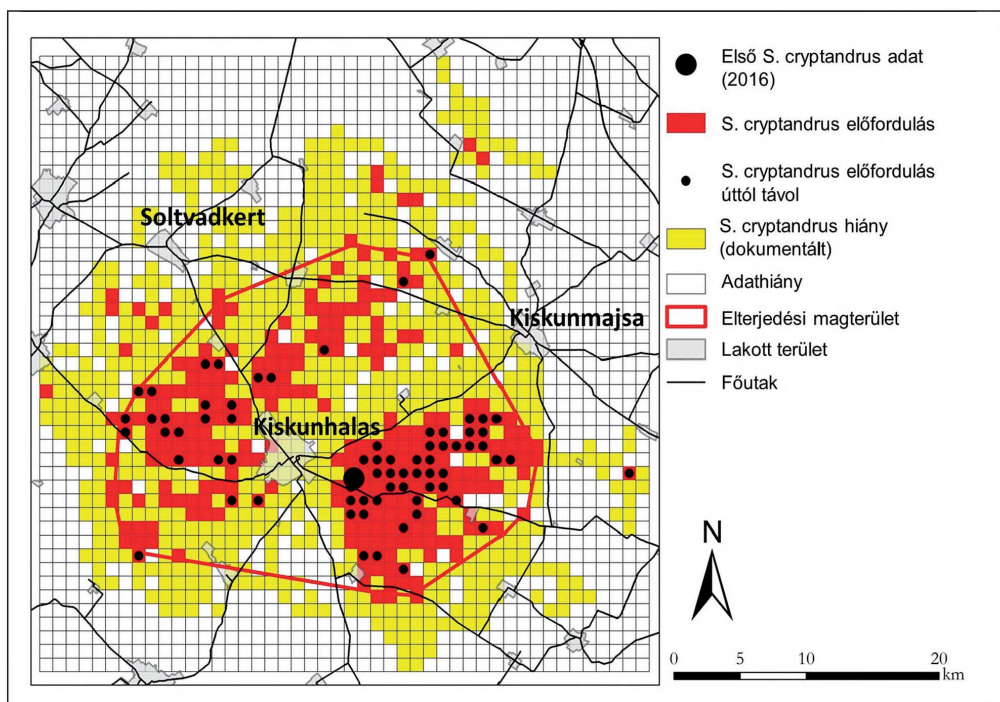
2. ábra. Az ázsiai tigrisszúnyog (*Aedes albopictus*) egy ázsiai eredetű csípőszúnyogfaj, mely az utóbbi évtizedben jelent meg és terjedt el hazánkban, és amely potenciálisan számos kórokozót terjeszthet magyarországi elterjedése (*citizen science* megfigyelések) alapján (<https://szunyogmonitor.hu/>). A megfelelően validált lakossági bejelentések (fekete pontok) alapján vizsgálható, hogy melyek azok a környezeti tényezők, amelyek pozitív összefüggést mutatnak a faj előfordulásával. Egy ökológiai niche modellezés 69 lehetséges változóból (például éghajlat, az élőhelytípus, a táplálékforrás, a közúti forgalom és a fajok közötti verseny) válogatta le a legfontosabb prediktor tényezőket, melyek alapján jóslásokat lehet tenni a faj előfordulási valószínűségére az olyan területeken, ahol nincs *citizen science* adat (színes foltok)

Forrás: Garamszegi et al. 2025

Az inváziós folyamatok nyomon követése az eddig ismert, invázió kapcsán megfogalmazott tudományos feladatokat foglalja magában: előrejelzés, inváziós útvonalak beazonosítása, elterjedés monitorozása és a környezeti/gazdasági hatások vizsgálata. Az Egészségbiztonság Nemzeti Laboratórium Invázióbiológia Divíziója (invaziobiologia.hu) több kulcsfaj esetében követi nyomon az elterjedési mintázatokat, és tárja fel az invázió ökológiai és gazdasági hatásait (lásd 2–5. ábra).

Továbbra is fontos, hogy az inváziós eseményeket a korai fázisban érzékeljük, a valós fenyegetettséget megbecsüljük. Kiemelt feladat, hogy az inváziós eseményeket a valós időben és nagy földrajzi területre kiterjedően detektáljuk, és a beérkező nagy mennyiségű adatból hatékony előrejelző (alar ming) funkciókat működtessünk. Nagy szükség van a hatásvizsgálatokra is, mely során fel kell tárnunk az inváziós fajok növényekre, állatokra, ökoszisztémákra és emberre gyakorolt hatásait.

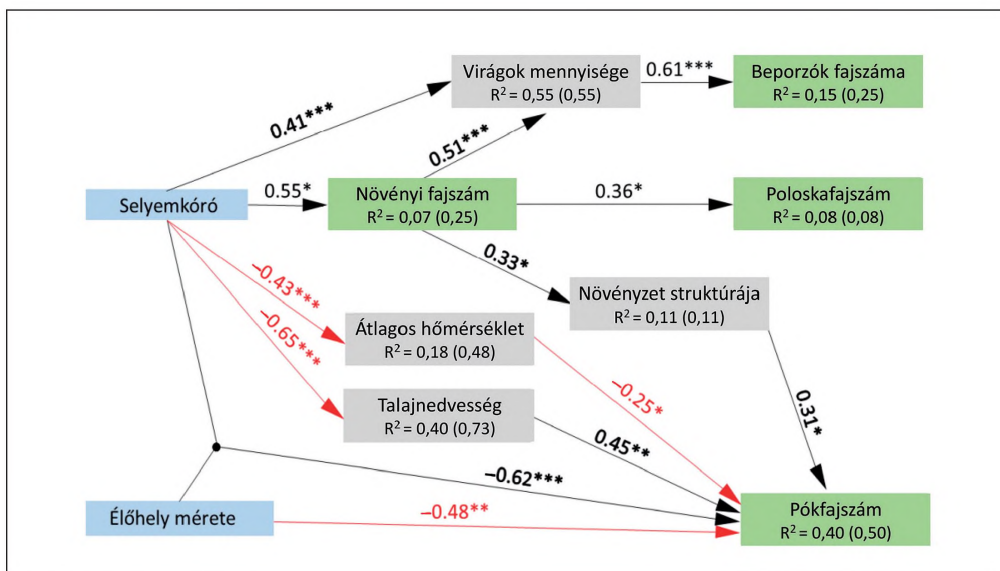
Egy több fajt érintő cselekvési terv kidolgozásánál szükség van a fajok fontossági sorrendjének kialakítására, ami nemcsak az egyes fajok megjelenési valószínűségét, hanem az általuk okozott lehetséges károkat is figyelembe veszi. Még abban az ideális esetben is, ha minden újonnan megjelenő inváziós faj fenyegetését időben fel



3. ábra. A homoki prérifű (*Sporobolus cryptandrus*) egy észak-amerikai eredetű évelő fűfaj első dokumentált előfordulása 2016-ban (nagy fekete pötty) és a faj elterjedése a Duna–Tisza közti Homokhátság déli részén 2023 áprilisában (piros foltok) direkt terepi felmérések alapján.

Az „elterjedési magterület” a nagyjából összefüggő elterjedés külső határát mutatja

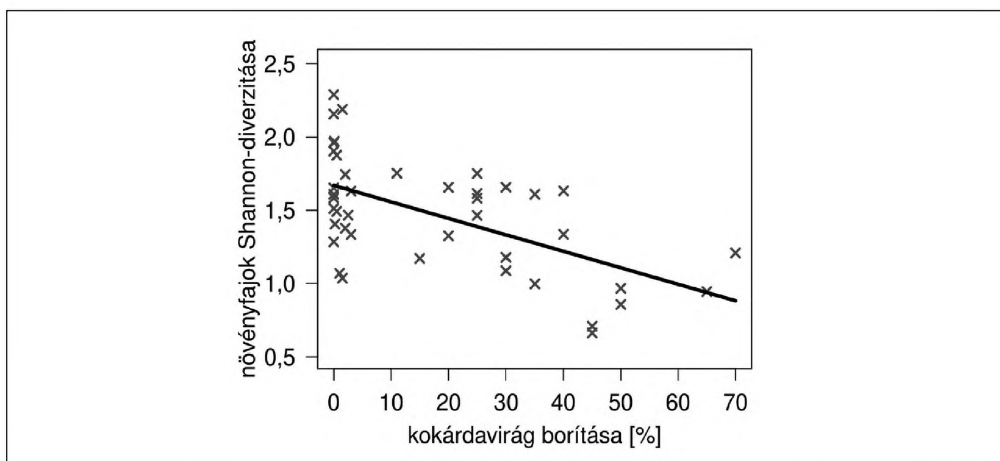
Forrás: Kröel-Dulay et al. 2024



4. ábra. Az inváziós selyemkóró (*Asclepias syriaca*) egy észak-amerikai eredetű, agresszíven terjeszkedő évelő gyomnövény, melyet a 19. század végén telepítettek be Magyarországra, eredetileg a textilipar számára. Napjainkra az egész ország területén gyakori, és számos módon, általában negatívan hat a különböző funkciójú rovarközösségekre a környezeti tényezők megváltoztatásán keresztül. A kék színű négyzetek jelölik a vizsgált változókat, a szürke négyzetek az élőhelyi változókat, a zöldek a fajszámokat jelentik. A fekete nyilak pozitív, a piros nyilak negatív hatásokat jeleznek. A rajtuk található számok a regressziós koefficiensek.

Szignifikanciaszintek: *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$

Forrás: Gallé et al. 2023



5. ábra. A világszerte ültetett kokárdavirág (*Gaillardia aristata*) a kertekből kiszökve természetközeli és őshonos gyepekben is megjelent. Magas borítottsága csökkenti az őshonos növények fajgazdagságát

Forrás: Süle et al. 2023

tudnánk ismerni, akkor sem lehetne ellenük egyszerre hatékonyan fellépni a rendelkezésre álló források korlátai miatt. Elsősorban azon fajokra kell reagálnunk, melyeknek igazoltan nagy káros hatásai vannak, gyorsan terjednek, és igen valószínű, hogy hamarosan megjelennek az országban. E prioritizáláshoz a környezeti szkennelés (environmental scanning) módszere alkalmazható, melyben a különböző fajok kapcsán kialakított tudásrendszerek integrálása egy egységes szempontrendszer mentén történik (Lieurance et al. 2023). A fontossági sorrend koncepciója megjelenik a gyakorlati oldalon is, mert a rendelkezésre álló cselekvési lehetőségek közül azt kell favorizálnunk, amelyik a legkisebb befektetés mellett a leghatékonyabb beavatkozást eredményezi.

A természetvédelmi beavatkozások során a fajvédelemmel szemben előtérbe kell helyezni a társulások, élőhelyek és a bennük zajló ökoszisztéma-funkciók, illetve a biodiverzitás megőrzését, hiszen megfelelő táj-, erdő-, mező-, vad-, kert- és vízgazdálkodás mellett az invázió hatása csökkenthető (Demeter et al. 2021). Egy bolygagatott, emberi hatásnak kitett őshonos állomány az inváziós fajokkal szemben sérülékenyebb, így elengedhetetlen, hogy elsősorban az ilyen hatásokat minimalizáljuk, és a természetes élőhelyek védelmét helyezzük előtérbe. Ha már megjelent az inváziós faj, célszerű olyan kezelési eljárást alkalmazni, amelynek minimális az ökotoxikológiai hatása, így nem veszélyezteti az őshonos közösség diverzitását. Meg kell vizsgálnunk azt is, hogy hogyan tud az új faj beilleszkedni a már itt lévő ökológiai közösségekbe úgy, hogy jelenlétével a legkevesbé rontsa az eredeti funkciókat.

Az ágazati összefogásra azért van szükség, mert az inváziós fajok összetett módon hatnak az emberi, állati, növényi és természeti egészségre, így a lehetséges hatások több szektort érintenek. E szereplők olajozott együttműködésére van szükség mind a helyzetkép felmérése, mind a cselekvési terv kidolgozása terén. Az inváziók kezelése egy komplex tanulási folyamat, ahol a természet- és társadalomtudományok művelőinek, a döntéshozóknak, a gazdálkodóknak és az állampolgároknak is fontos szerepe van. A több ágazaton átívelő kommunikációt erősíteni kell olyan interfészfunkciók erősítésével, melyek átsegítik a különböző területekről érkező szereplőket a sajátos nyelvzetükből és gondolkodásmódjukból fakadó korlátokon. A nagyobb mértékű bevonódás elősegíti a különböző területek szükségleteinek, motivációinak és érdekeinek figyelembevételét, így az invázióval kapcsolatos intézkedéseket ezek mentén lehet harmonizálni.

Klasszikusan, az invázióval kapcsolatos stratégiát a tudományos és gazdasági racionalizmus vezérli, de a döntési szempontok nem hagyhatják figyelmen kívül az intézkedésekben érintett egyének és közösségek pszichológiai, társadalmi és kognitív jellemzőit sem (Jarić et al. 2025). Mind a környezeti nevelés, mind pedig a megfelelő érdekképviselő kialakításának okán segíteni kell a társadalom széles körű részvételét az invázióval kapcsolatos ágazati diskurzusban. E folyamatot nagyban segíthetik a közösségi tudomány (citizen science) programok, melyek hatékonyan tudnak közreműködni az inváziós fajok detektálásában, és egyben edukációs felületet biztosítanak egy szélesebb közösség számára (Howard et al. 2022).

Összegzés

A közfelfogás a tudománytól általában a válaszokat, megoldásokat várja – de ez téves elvárás. A tudomány az értelmes szakmai kérdések megfogalmazására képes – ami szintén értékes szolgálat a társadalom számára. Ahogy fent bemutattuk, az inváziós fajok problémája nem megoldandó, hanem megvitatandó, fontos kérdés. E problémát egyedül sem az ökológusok, sem a közgazdászok, sem a természetvédők nem tudják megoldani, de még operatíván megvitatni sem. Fel kell ismernünk, hogy az eszkalálódó globális kereskedelem és turizmus árnyékában az ember segítette biológiai inváziók a jövőben nem csökkenni, hanem növekedni fognak, így a fokozódó inváziós események megelőzése nem lehet értelmes célkitűzés. Egy mindenkit érintő, globális jelenséggel állunk szemben, minden érintettnek részt kell vennie az invázióval kapcsolatos helyzetkép feltárásában, a lehetséges cselekvési tervek kidolgozásában és végrehajtásában. A folyamatot kivédeni nem tudjuk, ezért érdemes az erőfeszítéseket a folyamat lassítására, illetve az ökoszisztémák funkcionalitásának megőrzésére és a klímaváltozás elleni ellenállásának fokozására koncentrálni. Ebbe az adaptációs folyamatba az egész társadalmat be kell vonnunk, és az inváziós fajok kultúrába való beépülésére is fel kell készülnünk.

Irodalomjegyzék

- Botta-Dukát, Zoltán (2008). „Invasion of Alien Species to Hungarian (Semi-)Natural Habitats”. *Acta Botanica Hungarica*, 50, 219–227. <https://doi.org/10.1556/abot.50.2008.suppl.11>.
- Colautti, Robert I. – MacIsaac, Hugh J. (2004). „A Neutral Terminology to Define ‘Invasive’ Species”. *Diversity and Distributions*, 10/2, 135–141. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2004.00061.x>.
- Csiky, János et al. (2023). „Checklist of Alien Vascular Plants of Hungary and Their Invasion Biological Characteristics”. *Acta Botanica Hungarica*, 65/1–2, 53–72. <https://doi.org/10.1556/034.65.2023.1-2.3>.
- Demeter, László et al. (2021). „Controlling Invasive Alien Shrub Species, Enhancing Biodiversity and Mitigating Flood Risk: A Win–Win–Win Situation in Grazed Floodplain Plantations”. *Journal of Environmental Management*, 295, 113053. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113053>.
- „Egészségbiztonság Nemzeti Laboratórium Invázióbiológiai Divízió”. *Invaziobiologia.hu* (letöltés: 2025. jún. 29.). <https://invaziobiologia.hu/>.
- Gallé, Róbert et al. (2023). „Plant Invasion and Fragmentation Indirectly and Contrastingly Affect Native Plants and Grassland Arthropods”. *Science of the Total Environment*, 903, 166199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166199>.
- Garamszegi, László Zsolt et al. (2025). „Identifying Ecological Factors Mediating the Spread of Three Invasive Mosquito Species: Citizen Science Informed Prediction”. *Journal of Pest Science*, 98, 913–928. <https://doi.org/10.1007/s10340-024-01841-7>.
- Gioria, Margherita et al. (2023). „Why Are Invasive Plants Successful?”. *Annual Review of Plant Biology*, 74, 635–670. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070522-071021>.
- Haraszthy László, szerk. (2022). *Özönállatfajok Magyarországon*. Budapest: Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság – Külgazdasági és Külügyminisztérium.
- Howard, Leif et al. (2022). „A Review of Invasive Species Reporting Apps for Citizen Science and Opportunities for Innovation”. *NeoBiota*, 71, 165–188. doi: 10.3897/neobiota.71.79597.
- Hulme, Philip E. (2009). „Trade, Transport and Trouble: Managing Invasive Species Pathways in an Era of Globalization”. *Journal of Applied Ecology*, 46/1, 10–18. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01600.x>.

- Hulme, Philip E. (2020). „One Biosecurity: A Unified Concept to Integrate Human, Animal, Plant, and Environmental Health”. *Emerging Topics in Life Sciences*, 4/5, 539–549. <https://doi.org/10.1042/etls20200067>.
- Jarić, Ivan et al. (2025). „Cultural Integration of Invasive Species”. *npj Biodiversity*, 4, 25. <https://www.nature.com/articles/s44185-025-00097-3>.
- Juhász-Nagy Pál (1986). *Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Kröel-Dulay, György et al. (2024). „Explosive Spread of Sand Dropseed (*Sporobolus Cryptandrus*), a C4 Perennial Bunchgrass, Threatens Unique Grasslands in Hungary (Central Europe)”. *NeoBiota*, 95, 59–75. <https://doi.org/10.3897/neobiota.95.124667>.
- Lieurance, Deah et al. (2023). „Identifying Invasive Species Threats, Pathways, and Impacts to Improve Biosecurity”. *Ecosphere*, 14/12, e4711. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4711>.
- Lövei, Gábor L. (1997). „Global Change Through Invasion”. *Nature*, 388/6643, 627–628. <https://doi.org/10.1038/41665>.
- Masunungure, Current et al. (2023). „Decision Support Tools for Invasive Alien Species Management Should Better Consider Principles of Robust Decision Making”. *Science of the Total Environment*, 899, 165606. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165606>.
- Roy, Helen E. et al., szerk. (2023). *Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany: IPBES Secretariat. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430682>.
- Seebens, Hanno et al. (2017). „No Saturation in the Accumulation of Alien Species Worldwide”. *Nature Communications*, 8/1, 14435. <https://doi.org/10.1038/ncomms14435>.
- Siddiqui, Junaid Ali et al. (2023). „Insights into Insecticide-Resistance Mechanisms in Invasive Species: Challenges and Control Strategies”. *Frontiers in Physiology*, 13, 1112278. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1112278>.
- Simberloff, Daniel et al. (2013). „Impacts of Biological Invasions: What’s What and the Way Forward”. *Trends in Ecology & Evolution*, 28/1, 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013>.
- Süle, Gabriella et al. (2023). „Escape from the Garden: Spreading, Effects and Traits of a New Risky Invasive Ornamental Plant (*Gaillardia Aristata* Pursh)”. *NeoBiota*, 83, 43–69. <https://doi.org/10.3897/neobiota.83.97325>.

Határozási krízis: lejtmenetben az állatvilággal kapcsolatos tudásunk

Identification Crisis: Our Knowledge on Animals Is in Decline

Páll-Gergely Barna¹ – Csabai Zoltán²

¹ tudományos főmunkatárs, HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont Növényvédelmi Intézet Állattani Osztály, Martonvásár
pall-gergely.barna@atk.hun-ren.hu

² tanszékvezető egyetemi docens, Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar
Biológiai Intézet Hidrobiológiai Tanszék, Pécs
csabai@gamma.ttk.pte.hu

Összefoglalás

Magyarország élővilága nemzeti kincs, ismerete, kutatása kiemelt kötelességünk. Joggal lehetünk büszkéek a magyar faunistákra és taxonómusokra, akik az elmúlt 100–150 évben a ma ismert szintig feltárták a hazai állatvilágot, és munkájuknak köszönhetően a világ legalaposabban feltárt faunájú országai közé tartozunk. A taxonómia és faunisztika tudományágai azonban a hanyatlás jeleit mutatják. Egyre kevesebb elterjedési adatot publikálunk hazánk állatvilágáról, egyre kevesebben értenek egyre kevesebb állatcsoporthoz. Mennyire nagy a baj, milyen okok állnak a háttérben, és van-e remény a trendek megváltoztatására?

Abstract

The wildlife of Hungary is a national treasure, and knowledge of and research into it are of paramount importance. We can be justifiably proud of the Hungarian faunists and taxonomists who have explored the country's fauna over the past 100–150 years, bringing us to our current level of knowledge. Thanks to their efforts, Hungary boasts one of the most thoroughly studied faunas in the world. However, the fields of taxonomy and faunistics are showing signs of decline. We are publishing less and less distribution data on our country's fauna, and fewer people are becoming experts in fewer animal groups. How serious is the problem, what are the underlying causes, and can these trends be reversed?

Kulcsszavak: faunisztika, taxonómia, azonosítás

Keywords: faunistics, taxonomy, identification

Bevezetés

Ki ne ismerné a verebet? Vajon azt is mindenki tudja, hogy a „veréb” nem egy faj? Magyarországról három fajt ismerünk, a mezei, a házi, és a nagyon ritkán előforduló berki verebet. Ha valaki idehaza verebet lát, biztos tudni fogja, hogy a három hazai faj közül melyikkel is van dolga? Magyarország területéről körülbelül 420 madárfajt ismerünk. Talán a madarakat tekinthetjük a legjobban ismert állatcsoportnak, nemcsak hazánkban, hanem világszerte is. Bár sok madárfajt csak pontos szaktudással és

többévtől gyakorlattal lehet elkülöníteni a legközelebbi rokonától, mégis, hazánkban több száz amatőr és professzionális madarász ismeri az összes fajt (vagy legalább a fajok döntő többségét) töviről hegyire.

Mi a helyzet a többi állatcsoporttal? A hím szarvasbogarát talán mindenki megismerne, azonban aki nyitott szemmel figyeli az élővilágot, biztosan látott például ormányosbogarát is. Apró kis bogárka, és amint a neve is sugallja, hosszú ormányáról lehet felismerni. Vajon az „ormányosbogár” egy faj vagy több? Nos, hazánkból 1200-nál is több fajukat ismerik (Merkl–Vig 2009), mindegyiknek más a külleme, a neve, az elterjedési területe, és az életmódja is, hiszen majdnem mindegyik faj más-más növényben fejlődik, sokuk éppenséggel gazdasági kártevő. Ormányosbogár-specialistává lenni, a fajokat biztosan elkülöníteni egymástól hosszú évek kemény munkájával lehet csak.

Amikor földigilisztát látunk, a fajszerinti azonosításhoz szintén nem egy fajról kell tudnunk, hanem hazai viszonylatban közel 60-ról! 600-nál több levéltetűfaj, 700 fölötti vadméhfaj, 800-nál több pókfaj, majdnem 1800 atkafaj, 5800 körüli kétszárnyúfaj (légy, szúnyog) ismert eddig Magyarországról, és a meghökkentő sort sokáig folytathatjuk.

Papp László (1946–2021) (1. ábra) volt az utolsó akadémikus, akinek fő szakterülete a zootaxonómia volt. Munkássága során 747 fajt fedezett fel a tudomány számára, és több mint 2000 fajt mutatott ki a hazai faunából újonnan (Soltész–Peregovits 2021). Az ő halálával kis túlzással ki lehet jelenteni, hogy Magyarországon a légyhatározás megszűnt, vagyis a közel 6000, hazánkból jelzett kétszárnyú faj döntő többségét egyszerűen nincs, aki ismerje. Ez a felismerés indította el azt a kutatást, amelyben a hazai faunisztika helyzetét igyekeztük feltárni. Ennek eredményéről részletekbe menően egy angol nyelvű publikációban számoltunk be (Páll-Gergely et al. 2024), itt a legfontosabb folyamatokra szeretnénk rávilágítani.



1. ábra. Papp László 2010-ben Vietnámban
Fotó: Soltész Zoltán

Faunisták és taxonómusok

Kik azok a kutatók, akik képesek eligazodni az állatfajok elképesztő sokféleségében? A faunista és a taxonómus is állatokat vizsgál, mindkettő gyakran már ismert fajokat azonosít. A köznyelvben taxonómusnak hívnak mindenkit, aki fajokat határoz, azonban ez téves. Hogy értsük, miről is szól ez az írás, meg kell értenünk, hogy mit is takar a faunisztika és a taxonómia tudományterülete.

A *faunista* egy adott földrajzi terület faunalistáját készíti el általa pontosan meghatározott (azonosított) egyedek alapján. Egy vagy néhány élőlénycsoportra nézve behatóan ismeri egy adott ország vagy biogeográfiai régió fajait, azok elterjedését, gyakoriságát, legtöbbször életmódját és ökológiai igényeit, valamint a vizsgálatának módszereit. Térképeket készít az adott területen élő fajok elterjedéséről, új adatokat közöl és azt is publikálja, ha eddig az adott országból vagy régióból addig még ismeretlen előfordulású fajra (úgynevezett „faunára új fajra”) bukkant. A faunisztikai adat egy faj egy adott lelőhelyről egy adott időpillanatban megfigyelt jelenléte.

A *taxonómus* célja ellenben az, hogy megértse és bemutassa, hogy mely morfológiai jegyek térnek el a különböző fajok között, vagyis az élőlények morfológiáját (és esetenként molekuláris szekvenciáit) vizsgálva elkülönítse, meghatározhatóvá tegye és besorolja a fajokat. A taxonómiai munka velejárója nemritkán az eddig teljesen ismeretlen fajok (úgynevezett „tudományra új fajok”) leírása, elnevezése (lásd bővebben: Wheeler 2014, Páll-Gergely 2018).

Taxonómus is lehet egyben faunista az adott csoportra nézve, hiszen kiválóan ismeri a fajokat, de az ő fókusza nem ezen van, hanem az új fajok megismerésén, a leszármazási viszonyok minél teljesebb leírásán és a fajok elkülöníthetőségének tételén. Néha a faunista is tehet egy-egy kirándulást a taxonómia világába, általában a taxonómusval karöltve. Egy jó faunista követi az adott csoport taxonómusainak munkáit, hogy naprakészen tartsa a tudását, és ideális esetben munkakapcsolatban is vannak, ha egy-egy „rázósbab” fajnál van szükség a határozás megerősítésére.

Fajismeret lejtmenetben

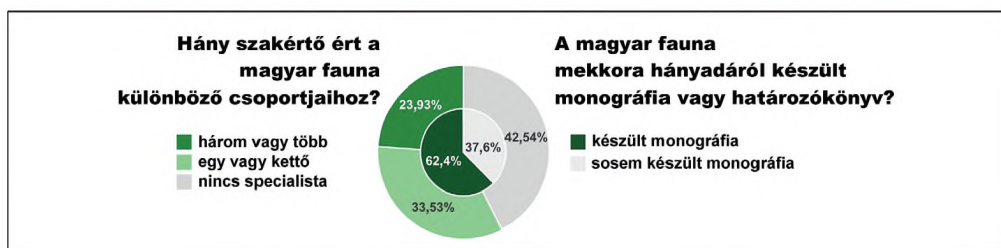
Zoológus kollégákkal beszélgetve gyakran felmerülnek a faunisztika és taxonómia mint szakma és hivatás aggasztó trendjei és általános problémái, ezeket igyekeztük szétszálazni és egyenként megvizsgálni.

Hány fajból áll a hazai fauna, és mennyire tudjuk meghatározni?

Közel 30 hazai kolléga közreműködésével összeírtuk, hogy publikált adatok szerint mekkora a magyar fauna. Ez a szám 35 912 fajt eredményezett, azonban ez a szám folyamatosan változik. Írásunk (Páll-Gergely et al. 2024) megjelenése óta is publikáltak Magyarországról eddig még ki nem mutatott fajokat soroló közleményeket (például Varga–Horváth 2024). A mintegy 36 000 faj közül 15 274 fajnak (42,5%) egyszerűen

nincsen hazai szakértője, tehát nincs senki, aki képes lenne őket faji szinten beazonosítani. Ezek közé tartoznak legyek, különböző darazsak, bizonyos atkák, különböző féregcsoportok, és a sort még sokáig folytathatnánk. Tehát ezeknek az apró, de tudományos és gazdasági szempontból fontos állatoknak a taxonómiai és faunisztikai megközelítésű megismerése szinte megállt hazánkban. További 12 040 fajhoz (33,5%) egy vagy kettő szakértő ért, és gyakran áll fenn az a helyzet, hogy az egyetlen kutató, a kettő közül az egyik, vagy akár közülük mindkettő nyugállományú, vagy esetleg már elhagyta a szakmát. Ez egyben azt is jelenti, hogy rövid időn belül hazai szinten újabb és újabb állatcsoportokkal kapcsolatos aktív tudásunkat veszíthetjük el. A növények beporzásában rendkívül fontos vadméheket például egyetlen idős szakember ismeri csak. Csupán a maradék 8595 fajhoz (ami a magyar fauna alig negyede: 23,9%) rendelkezünk három, vagy annál több szakértővel (2. ábra). A jól ismert csoportok közé tartoznak például a lepkék, nagyobb testű bogarak, pókok, bizonyos vízirovarok, és természetesen a gerincesek. Az ábrákon közölt adataink egy pillanatnyi állapotot mutatnak be. Nagyon nehéz lenne visszakövetni, hogy melyik időpillanatban a fauna mekkora részét voltunk képesek meghatározni. Talán a 2000-es évek lehetett a legkedvezőbb időszak, amikor többek között még Mahunka Sándor (1937–2012), Andrassy István (1927–2012) és Papp László (1946–2021) is aktívan kutatta a hazai faunát.

Mivel többen beszámoltak arról, hogy egy-egy határozókönyv keltette fel érdeklődésüket egy állatcsoport iránt, megvizsgáltuk, hogy a magyar fauna nagyjából mekkora hányadáról áll rendelkezésünkre monográfia, határozókönyv. Becslésünk szerint a magyar fauna kb. 62%-áról készült valaha határozókönyv (2. ábra), amely jelentős része ugyan már elavult, de mégis jóval magasabb arány, mint amennyit jelenleg meg tudunk határozni. Ez is mutatja, hogy már túl lehetünk a csúcson.

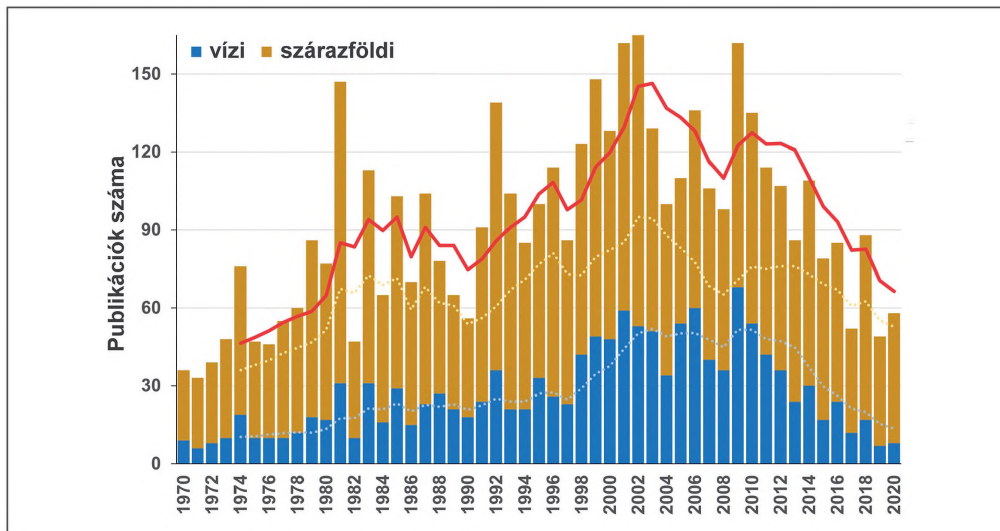


2. ábra. Hány szakértő ért a magyar faunához, és a magyar fauna mekkora hányadáról született hazai monográfia vagy határozókönyv?
Forrás: Páll-Gergely et al. 2024

Miért és milyen mértékben csökken a faunisztikai kutatások intenzitása?

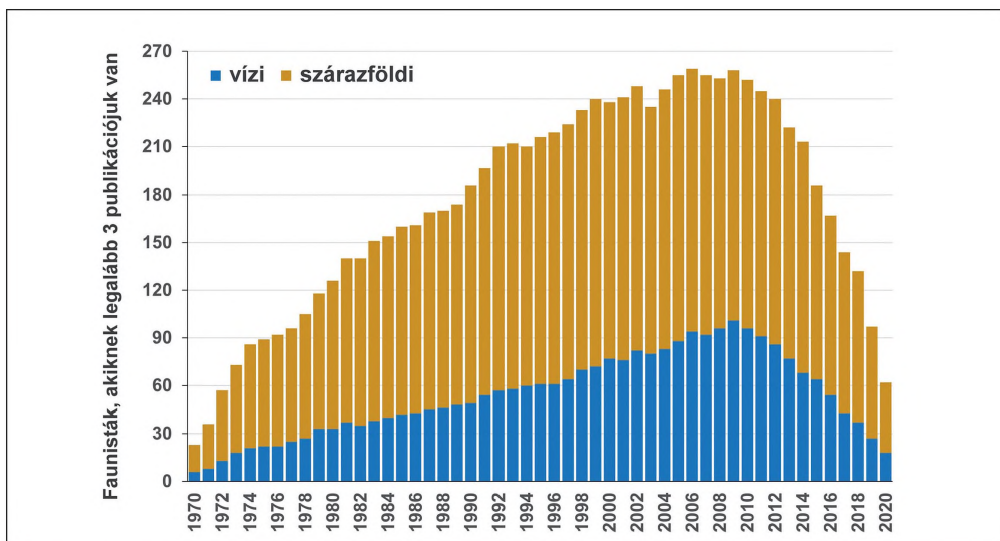
Összeszedtük az 1970 és 2020 közötti összes publikációt, amely faunisztikai adatokat közöl Magyarországról. A teljességre törekedtünk. Adatbázisunkban összesen 4343 publikációt listáztunk, amelyek közül 1399 vízi, 3300 pedig szárazföldi állatok adatait közölte (356 publikáció vízi és szárazföldi fajok adatait is tartalmazta). Időskálán ábrázolva ri-

asztó trendeket kaptunk a faunisztikai publikációk számának (3. ábra) és az aktívan publikáló faunisták számának (4. ábra) időbeli változásában. 1970-től hozzávetőlegesen 2010-ig a gerinctelen állatfajok elterjedési adatait közlő publikációk száma növekedett, azonban 2010 óta annyira lecsökkent, hogy szinte elértük az 1970-ben látott számokat.



3. ábra. A faunisztikai adatot tartalmazó publikációk számának változása 1970 és 2020 között

Forrás: Páll-Gergely et al. 2024



4. ábra. Aktív időszakukban legalább három publikációt jegyző faunisták számának változása Magyarországon 1970 és 2020 között

Forrás: Páll-Gergely et al. 2024

Felmerül a kérdés, hogy mi a csökkenő trendek oka. Adatbázisunkban azonosítottunk minden olyan faunistát, akinek csökkenést láttunk a publikációs aktivitásában (cikkek számát tekintve), közülük 123-nak megtaláltuk az elérhetőségét, és elküldtünk nekik egy kérdőívet, amely az okokat kutatta.

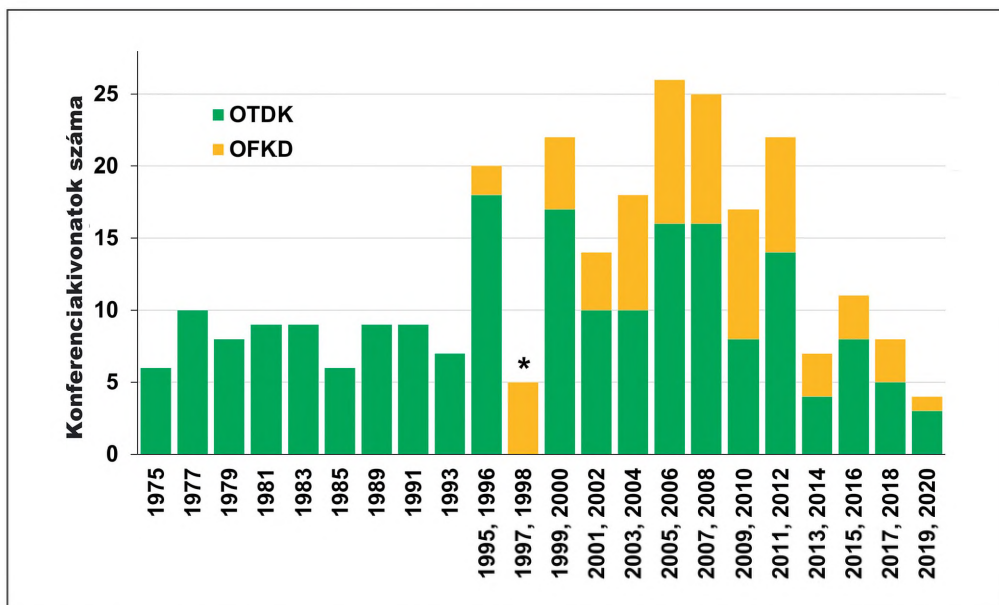
A 61 válaszoló főként a megnövekedett adminisztrációs nyomást, a magas presztízsű lapokban való publikálási kényszert, a munkáltató negatív hozzáállását jelölte meg okként. Azonban számos egyéb tényező is megemlítesre került, például az is, hogy míg korábban nagy projektek voltak egyes védett területek faunisztikai vizsgálatára, ma már csak a Natura 2000-es fajok monitorozása érdekli a nemzeti parkokat, így nagyon lecsökkent a faunisztikai adatok megrendelőinek száma. Míg például 30-40 évvel ezelőtt befolyásos szakemberek megszervezték magyarországi védett területek zoológiai feltárását, az ő hasonló elismertségű utód nélküli visszavonulásukkal ma nincs elég lobbijereje a tudományágnak hasonló projektek véghez vitelére. Továbbá, a Magyar Természettudományi Múzeum, amely eddig a faunisták és taxonómusok bástyája volt, megélhetési és egyéb okok miatt elveszítette jelentőségét (sovány vigasz, hogy ez is világtrend: Naggs 2022).

Fontos megjegyezni, hogy egyrészt kevesebb faunisztikai adat is keletkezik (például kevesebb forrás jut a faunisztikai adatok megrendelésére), de ha keletkezik is, sokszor a faunisták nem publikálják, mert a faunisztikai cikk alig számít egy kutató előmenetelében.

Hogy születik a faunista?

Az még érthető, ha valaki gyerekként nagy testű bogarakat, csigákat, lepkéket fotóz és gyűjt, és később diplomát szerez, és doktorál egy adott csoport taxonómiájából vagy ökológiájából. Azonban hogy lesz valaki atkakutató, vagy 1-2 mm-es talajlakó férgek vagy muslicaméretű legyek kutatója? Összesen 42 olyan hazai faunistát kérdeztünk meg, akik „népszerűtlen” és „nehéz” csoportokkal (apró és nehezen határozható bogarak, ugróvillások, poloskák, giliszták stb.) foglalkoztak. Közülük a többség (26-an, 62%) azt válaszolták, hogy valaki más, általában egy nagy tekintélyű professzor vagy muzeológus „osztotta ki” a csoportot, amivel a mai napig is foglalkoznak.

Magyarországon legalább az 1960-as és 1990-es évek között sokak által osztott szemlélet volt, hogy lehetőleg minden állatcsoportnak legyen specialistája (azonban, kicsit faramuci módon, egy állatcsoportnak egy szakember elég), ezért a fiatal biológushallgatókat egyetemi mentoraik és a muzeológusok „ráállították” a specialistával korábban nem rendelkező csoportok vizsgálatára. Jelenleg alig lehet találni faunista vagy taxonómus szemléletű egyetemi oktatót a tudományegyetemeinken, ezért a faunisták diverzitását korábban növelő „állatcsoportosztó” tevékenység manapság gyakorlatilag megszűnt. Ezek a trendek jól látszanak az elmúlt évtizedek azon OTDK és OFKD dolgozatainak számában, amelyek biztos határozási tudást feltételeznek (5. ábra).



5. ábra. Az Országos Tudományos Diákköri Konferencia (OTDK) és az Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia (OFKD) olyan dolgozatainak száma, amelyek egy-egy állatcsoport fajsztintú ismeretét feltételezik. *1997-ben nem adtak ki OTDK absztraktkötetet
Forrás: Páll-Gergely et al. 2024

Diszkusszió

Mahunka Sándor akadémikus szakterülete a páncélosatkák taxonómiája volt, de ő szervezte meg a hazai nemzeti parkok faunisztikai feltárását is (Pócs–Csuzdi–Kontschán 2013). A 70. születésnapjára a *Magyar Tudomány* különszámmal jelentkezett (Vásárhelyi 2007), amelyben áttekintették a zootaxonómia (ebbe a faunisztikát is beleértették) magyarországi helyzetét. A publikációkat olvasva egyáltalán nem látszottak a zootaxonómia és faunisztika hanyatlásának itt kimutatott jelei. Valóban, ha megnézzük a fenti grafikonokat, 2007-ben még tényleg minden rendben volt, a faunisztikai cikkek, aktívan publikáló faunisták száma és a faunisztikai/taxonómiai témájú OTDK-dolgozatok száma felszálló ágban volt. A magyar kutatók hazai faunával kapcsolatos tudásának felmérését azért végeztük el, hogy folyosói beszélgetéseken túl rideg tényekkel tudjuk megmutatni, hogy nagy a baj.

Világosan látszik, hogy egyre kevesebb az olyan szakember, aki egy-egy állatcsoportot jól ismer. A faunista/taxonómus egyetemi oktatók és tekintélyes muzeológusok hiánya, és a fiatalokban a világ elvárásai miatt egyre inkább eluralkodó gyorsan megtérülő befektetések igénye miatt alig akad olyan fiatal, aki időt és energiát nem kímélve beleásná magát egy állatcsoportba, főleg azokba, amelyeknek nincsen szakértője. Ezért a faunisták diverzitása is csökken, a magyar faunisták egyre kevesebb

csoportban lesznek jártasak az idő előrehaladtával. Az okok azonban még messzebbre vezetnek. A lakosság egyre nagyobb hányada él városi környezetben, a természetből való eltávolodás globális jelenség. Míg sokak szenvedélye gyermekkori élményekben gyökerezik, a virágos rét vagy vadregényes táj élménye egyre csökkenő mértékben határozza meg a fiatalok érdeklődését (Frobel–Schlumprecht 2016). Nem túlzás tehát „határozási krízis”-ről beszélni, amelynek most féltő, hogy csak a kezdetét tapasztaljuk. Ezzel párhuzamosan a hatodik kihalási hullámot szenved el földünk állatvilága az emberi tevékenység miatt (Cowie–Bouchet–Fontaine 2022), és az állatok faj- és egyedszámának rohamos csökkenése Európában és Magyarországon is egyértelmű (Warren et al. 2021; Samu et al. 2023). Ilyen körülmények között éppen egyre több olyan szakemberre lenne szükségünk, akik ismerik a körülöttünk lévő élővilágot, és képesek annak összetételét és változását kutatni, hiszen megvédeni is csak azt tudjuk, amit ismerünk. Bár sikerült kristálytiszttá kimutatni, hogy a hazai állatcsoportokkal kapcsolatos fajismereti tudásunk, kutatási potenciálunk és az elvégzett és publikált kutatás mennyisége drasztikusan csökkent, nem egyszerű a negatív tendenciákat megfordítani. Egyrészt a biológusokat, zoológusokat képző felsőoktatásnak olyan hallgatókat kell képeznie, akiknek stabil tudásuk van egy-egy állatcsoportról, azonban a modern módszerek (adatelemzés, molekuláris technikák, összehasonlító morfológiai tudás) ismeretének is birtokában vannak, hiszen a pusztá fajlistákat, előfordulási adatokat értelmezni, használni is tudni kell. Másrészt hangsúlyozni kell, hogy nem elég az alulról jövő kezdeményezés, hiába képeznénk kiváló fajismerettel rendelkező taxonómusokat, ökológusokat, evolúciobiológusokat, ha az MSc- vagy PhD-képzésük végén nem találnának munkát, vagy nem lesz idejük és lehetőségük faunisztikai, taxonómiai kutatásokat végezni. A körülöttünk lévő természetről meglévő tudásunk csak akkor maradhat fenn, és akkor gyarapodhat, ha az élőlényeket ismerő kutatók állása, megélhetése, jövője biztosítva lesz.

Irodalomjegyzék

- Cowie, Robert H. – Bouchet, Philippe – Fontaine, Benoît (2022). „The Sixth Mass Extinction: Fact, Fiction or Speculation?” *Biological Reviews*, 97/2, 640–663. <https://doi.org/10.1111/brv.12816>.
- Frobel, Kai – Schlumprecht, Helmut (2016). „Erosion der Artenkenner. Ergebnisse einer Befragung und notwendige Reaktionen”. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 48/4, 105–113.
- Merkel Ottó – Vig Károly (2009). *Bogarak a pannon régióban*. Szombathely–Budapest: Vas Megyei Múzeumok Igazgatósága – Magyar Természettudományi Múzeum.
- Naggs, Fred (2022). „The Tragedy of the Natural History Museum, London”. *Megataxa*, 7/1, 85–112. <https://doi.org/10.11646/megataxa.7.1.2>.
- Páll-Gergely Barna (2018). „Szemléletváltás szükséges a taxonómia és szisztematika viszonyáról és meghatározásáról”. *Magyar Tudomány*, 179/7, 1083–1093.
- Páll-Gergely, Barna et al. (2024). „Identification Crisis: A Fauna-Wide Estimate of Biodiversity Expertise Shows Massive Decline in a Central European Country”. *Biodiversity and Conservation*, 33, 3871–3903. <https://doi.org/10.1007/s10531-024-02934-6>.
- Pócs Tamás – Csuzdi Csaba – Kontschán Jenő (2013). „Mahunka Sándor”. *Magyar Tudomány*, 174/2, 221–222.

- Samu, Ferenc et al. (2023). „Agricultural Spider Decline: Long-Term Trends Under Constant Management Conditions”. *Scientific Reports*, 13/1, 2305. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29003-2>.
- Soltész Zoltán – Peregovits László (2021). „In Memoriam Papp László”. *Állattani Közlemények*, 106/1–2, 159–163. <https://doi.org/10.20331/AllKoz.2021.101.1-2.7>.
- Varga, Nimród – Horváth, Dávid (2024): „Trichopoda Pictipennis Bigot, 1876 in Hungary (Diptera: Tachinidae)”. *Folia Entomologica Hungarica*, 85, 153–158. <https://doi.org/10.17112/FoliaEntHung.2024.85.153>.
- Vásárhelyi Tamás, szerk. (2007). „A zootaxonómia erőforrásai”. *Magyar Tudomány*, 167/11, 1378–1421.
- Warren, Martin S. et al. (2021). „The Decline of Butterflies in Europe: Problems, Significance, and Possible Solutions”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118/2, e2002551117. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002551117>.
- Wheeler, Quentin (2014). „Are Reports of the Death of Taxonomy an Exaggeration?” *New Phytologist*, 201, 370–371. <https://doi.org/10.1111/nph.12612>.

A perifériás nyirokszövetek fejlődésbiológiai útjai és útvesztői – párhuzamok és eltérések

Developmental Pathways and Labyrinths of Peripheral Lymphoid Tissues: Parallels and Deviations

Balogh Péter¹ – Nagy Nándor²

¹ az MTA doktora, Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ Immunológiai és Biotechnológiai Intézet, Pécs
balogh.peter@pte.hu

² az MTA doktora, Semmelweis Egyetem Általános Orvostudományi Kar Anatómiai, Szövet- és Fejlődéstan Intézet, Budapest
nagy.nandor@semmelweis.hu

Összefoglalás

Az antigén-specifikus receptorokon alapuló adaptív immunvédekezés kialakulása az állatvilágban a gerincesekre, azon belül az osztályokra és a fajokra jellemző integrált szervrendszer megjelenéséhez vezetett. Ennek során fejlődtek ki az immunvédekezésben közvetlenül részt vevő fehérvérsejtek előállítására specializálódott elsődleges (centrális), valamint az ezen sejtek működését lehetővé tevő másodlagos (perifériás) nyirokszövetek. A gerincesekben a különböző másodlagos nyirokszövetek fejlődési folyamataiban jelentékeny eltérések figyelhetők meg. A mostani beszámoló ezen fejlődésbiológiai eseményeket mutatja be.

Abstract

The evolution of an adaptive immune defence system based on antigen-specific receptors in the animal kingdom has resulted in the emergence of an integrated organ system characteristic of vertebrate classes and species. During this process, primary (central) lymphoid tissues that specialize in producing leucocytes directly involved in immune defence have evolved, as have secondary (peripheral) lymphoid organs that enable these cells to function. In vertebrates, significant differences can be observed in the formation of various secondary lymphoid tissues. This report presents an overview of these developmental biological events.

Kulcsszavak: immunrendszer, nyirokszövetek, fejlődés, stroma, differenciálódás

Keywords: immune system, lymphoid tissues, development, stroma, differentiation

1. Bevezetés

A gerincesek immunvédekezését biztosító legfontosabb másodlagos nyirokszervek a (szoliter) lép, amely a vérpályába bejutott antigének kiszűrésére specializálódott; a belső felületi helyek (főként légúti és emésztőrendszeri) nyálkahártya-asszociált nyirokszövetek, amelyek helyi kórokozókkal szembeni védekezésben vesznek részt; a nyirokcsomók, ahol a külső felület, illetve a mélyebb testtájak felől érkező nyirokkeringéssel

bejutott antigénekkal szemben jön létre immunválasz. Ezeken a helyeken jellemző az antigén-specifikus T- és B-sejtek irányított elkülönülése (kompartmentalizációja), valamint a helyi szöveti alapállomány specializációja is, ami lehetővé teszi a nyirokszöveti megtelepedést az érpályából való kilépés (homing), majd az azt követő irányított vándorlás (kemotaxis) során.

A perifériás nyirokszövetek szervfejlődésének kutatásában áttörést jelentett a tumor nekrosisz faktor (tumour necrosis factor, TNF) rokon szerkezetű limfotoxin alfa (LT- α) hiánya következtében a nyirokcsomók és a Peyer-plakkok hiányának és a lép károsodott nyirokszöveti szerveződésének felismerése. További fontos felfedezés volt a nyirokcsomók és Peyer-plakkok korai fejlődését irányító fehérvérsejtek azonosítása is. Az 1990-es évek elején egereken végzett kutatások mutatták ki egy korábban nem ismert, limfoid típusú non-T/non-B alcsoport jelenlétét, amelynek további vizsgálata a 2000-es évek elején a veleszületett limfoid sejtek (innate lymphoid cell, ILC) létezését tárta fel, melyek azóta az immunológiai kutatások fókuszába kerültek. Ezzel párhuzamosan a nyirokszövetek előtelepeinek kötőszövetes alapállománya is kiterjedt kutatások céljává vált, ezáltal ezekre a szövetalkotókra is az immunrendszer integráns részeként tekintünk. A mostani beszámoló célja ezen immunológiai-fejlődésbiológiai folyamatok bemutatása.

2. A szekunder nyirokszövetek evolúciós és ontogenetikai jellemzői gerincesekben

A szekunder (perifériás, másodlagos) nyirokszervek speciális helyszíneként szolgálnak az adaptív immunválaszok kiváltásához és koordinálásához. Idetartoznak a nyirokcsomók, a lép és a nyálkahártyához asszociált nyirokszövetek sokfélesége, mint például a Peyer-plakkok, a vakbél, a mandulák és a test egyéb nyálkahártyájának limfoid sejtekkel benépesített területei. Habár részben hasonló immunológiai funkciót látnak el, specifikus anatómiai lokalizációjuknak köszönhetően működésük jelentősen eltér. Kiemelt szerepük, hogy lehetővé tegyék az immunsejtek és az idegen antigének közötti interakciót, ezáltal lehetőséget biztosítva a szervezet számára a célzott és hosszú távon is hatékony védekezést, ugyanakkor szerepet játszanak az immuntolerancia fenntartásában saját vagy a kommenzalista antigénekkal szemben.

A másodlagos nyirokszövetek evolúciós megjelenése szorosan összefügg az adaptív immunitás kialakulásával (Boehm–Bleul 2007). Már az állkapocs nélküli halakhoz sorolt ingolák és nyálkahalal is rendelkeztek egy kezdetleges immunrendszerrel. A garat falában és a hipo-, illetve epipharyngealis redőkben másodlagos nyirokszövetre jellemző limfoid aggregációk fordulnak elő, de a valódi nyirokcsomók és egyéb másodlagos nyirokszervek hiányoznak. A porcos halak belének mukozális kötőszövetében a limfoid szövet mérete a bél antigénfelvételére válaszolva dinamikusan változik, hasonlóan az emlős bélrendszerében végbemenő folyamatokhoz. A csontos halak nyálkahártyája jellegzetes limfoid aggregátumokat tartalmaz, ami a lokalizált immunválaszokhoz való korai alkalmazkodásra utal.

A nyálkahártya-asszociált limfoid szövet általánosan jellemző a gerincesekre (Neely–Flajnik 2016). A kétéltűek és hüllők vékonybelében Peyer-plakkokra emlékeztető limfoid szövet figyelhető meg (Zapata et al. 2006). Madarakban már fejlett bélhez asszociált nyirokszervrendszert találunk, benne jól elkülönült tonsilláris egységekkel, amelyek B-, T-, dendritikus sejteket és makrofágokból álló csíracentrumokat tartalmaznak. Idetartozik az esophagus tonsilla, pylorus tonsilla, a páros coecalis tonsilla és a vékonybélben anti-mesenterialisan több helyen fellépő Peyer-plakkok rendszere (Nagy–Oláh–Vervelde 2022). A madarak bélhez asszociált nyirokszerveit M-sejteket tartalmazó follikulus-asszociált epithelium borítja, alapvázukat mezenchimális eredetű retikuláris sejtek alkotják (Nagy–Oláh 2007).

A törzsfajlódás során emlősökben jelennek meg először a teljesen fejlett, vér- és nyirokkeringéssel rendelkező nyirokcsomók és a jól szervezett bélhez asszociált másodlagos nyirokszervek, ami egy magas szinten fejlett, adaptív immunképességet tesz lehetővé. Madarakban csak a víziszárnyasok esetében írtak le vékony kötőszövetes tokkal rendelkező, csíracentrumot is tartalmazó, nyirokerekhez asszociált primitív murális nyirokcsomókat (Oláh–Glick 1983). Ugyanakkor számos anatómiai és szövettani különbség van az „igazi” nyirokcsomó (emlős típus) és a madarak murális nyirokcsomója között: az emlős nyirokcsomó anatómiailag megszakítja a nyirok-áramlást, míg a madár nyirokcsomók a nyirokerekhez laterálisan kapcsolódnak, a nyirokkeringés megszakítása nélkül.

A másodlagos nyirokszövetek organogenezise kifinomult molekuláris és sejt-sejt kölcsönhatásokon alapszik. A limfoid szervek ontogenezisének korai szakaszában a vénák endothél sejtjeiből differenciálódó Prox-1 transzkripciós faktort kifejező nyirokendothél sejtek CCL21 kemokint termelnek, ami lehetővé teszi a CD3-CD4+CD45+IL-7Rα+ limfoid szöveti indukáló (lymphoid tissue inducer cells, LTi) sejtek bevándorlását a nyirokszerv kezdeményébe, és biztosítja a sejt-sejt kölcsönhatását a limfotoxin-β receptort (lymphotoxin-β receptor, LTβR) hordozó, CXCL13 kemokint termelő mezenchimális eredetű nyirokszövetet organizáló (lymphoid tissue organizer cells, LTo) sejtekkel (Van de Pavert 2009). A nyirokcsomók és a Peyer-plakkok fejlődését irányító LTi sejtekre jellemző IL-7Rα expresszió a GATA3 transzkripciós faktor hatása alatt áll. Az LTi-sejteket a RORγt transzkripciós faktortól való függésük miatt a veleszületett limfoid sejtek (innate lymphoid cells, ILC) 3-as alcsoportjának tekintik (Van de Pavert 2023). Ezenkívül az NF-κB és az Id2 transzkripciós faktorok is kulcsszerepet játszanak a másodlagos nyirokszerveket irányító jelátviteli útvonalakban. A legújabb komparatív immunológiai kutatások csonotos halakban egy olyan ILC-szerű sejtszortot azonosítottak, amelyek az LTi-sejtek evolúciós prekursorait képviselhetik (Vivier et al. 2016; Boehm 2025).

A madarak egyedülálló immunrendszerrel rendelkeznek, amely olyan limfoid szerveket foglal magában, mint a bursa Fabricii, amely a B-sejtek fejlődéséért felelős primer nyirokszerv (Glick 1995). Transzgenikus csirkeembriók fejlődő nyirokszerveinek morfológiai jellemzése és embriómanipulációs kísérletek igazolták, hogy CD45+/CD4-/EIV-E12+ LTi-sejtek indukálják a bursa Fabricii lymphoid follikulu-

sainak kialakulását, és feltételezik, hogy hasonló sejtek a madarak szekunder nyirokszerveinek kialakulásában is részt vesznek (Szócs et al. 2024). Az LTi-sejtfunkció megőrzése madarakban azt sugallja, hogy ezek a sejtek ősi evolúciós eredetűek, és elengedhetetlenek a magasabb rendű gerincesek elsődleges és másodlagos limfoid szöveteinek fejlődéséhez.

3. A perifériás nyirokszövetek fejlődési mintázatai

3.1. A lép ontogenezise és fejlődési eseményei

A lép a gerincesek legősibb perifériás nyirokszöve, amely az emlős intrauterin egyedfejlődés során is elsőként jelenik meg. A porcos halakban a lép megjelenése a T-sejtes és B-sejtes együttműködésen alapuló adaptív immunválaszra való képességet is jelzi. Csontos halakban a léppel együtt a fejtégi vese is perifériás nyirokszerveként működik (Meseguer–Esteban–Agulleiro 1991).

Zebrahalak lépében 11 különböző fehérvérsejt-csoporton belül 54 eltérő alcsoportot azonosítottak (Hu et al. 2023). Közülük számos megfigyelhető a madár és emlős CD4+ és CD8+ T-sejt, NK-sejt, B-sejt, valamint számos dendritikus sejt alcsoportoknak, amelyek elrendeződését irányító kemokinreceptorok szintén kimutathatók. Felnőtt madarakban a lép képviseli a legnagyobb limfoid szervet. Nincsenek nyirokere, és csak a vérkeringésből vehet fel antigéneket. A fehér pulpában jól elkülöníthető a T-dependens periarteriális limfocita hüvely (periarteriolar lymphoid sheath, PALS), valamint az ecsetkapillárisokat körülvevő, makrofágokban gazdag, B-dependens periellipszoidális limfoid hüvely, amely az emlősök marginális zónájához hasonlítható. A szintén B-dependens, kötőszövetes kapszulával körülvett csíracentrumok az artériák elágazásánál, a PALS eredeténél fejlődnek ki (Nagy–Bódi–Oláh 2016; Nagy–Oláh–Vervelde 2022). Az embrionális fejlődés korai szakaszában a madarak lépe átmeneti granulocita- és vörösvérsejtképzést mutat, majd a kikelés előtti fejlődési stádiumban itt zajlik a B-sejt prekursorokban az immunoglobulin gének átrendeződése, amit a B-sejt előalakok bursa Fabricii-be történő vándorlása követ. A lép retikuláris alapváza a szolúbilis antigéneket köti meg, míg a korpuszikuláris antigéneket a terminális arteriola-ágakat körülvevő, retikuláris sejtekből és makrofágokból álló ellipsoidokban lévő makrofágok veszik fel. Utóbbiak részt vesznek a halakra (valamint kételtűekre és hüllőkre is) jellemző melanomakrofág centrumok (melano-macrophage centers, MMC) kialakításában is, ami esetleg a melegvérű gerincesek T-dependens humorális immunválasz során kialakuló csíracentrum (germinal center, GC) előalakjának tekinthető.

A madár és emlős lép embrionális fejlődése az oldallemez mezoderma eredetű mezotél gyomor körüli szakasza és a helyi mezodermális komponensek közötti kölcsönhatások révén indul el, számos transzkripciósfaktor irányításával. A folyamat első szakaszában a gyomorral érintkező régió kondenzálódását a Bapx1/Nkx3-2 faktor váltja ki, majd egy komplex transzkripcionális kaszkád folytatja, amelyben a részt

vevő faktorok (Nkx2-5, Tlx1/Hox11, Pod1, Wt1 és Pbx1) bármelyikének hiánya blokkolja a lép fejlődését (Brendolan et al. 2007). Az eleinte kétoldali szimmetrikus fejlődés a korai szakaszban baldominánssá válik, ami meghatározza a lép egyediségét és a hasüregben belüli elhelyezkedését.

A lép későbbi prenatális fejlődésében az ér pálya specializációja és a hematopoetikus sejtek megtelepedése tölt be fontos irányító szerepet. A fehér pulpa T/B zónájának LT-függő szétválásában a B-sejtek megtelepedése az elsődleges (Fu et al. 1998). Nkx2-3 hiányában teljes érmintázat-váltás lép fel, ennek során a nyirokcsomóra jellemző PNA_d addresszint hordozó magas endoteliális venulák (high endothelial venules, HEV) és LYVE-1/Prox-1-pozitív nyirokerek jelennek meg (Czömpöly et al. 2011; Kellermayer et al. 2011), és a lép elveszíti extramedulláris vérsejtképző képességét is (Gábris et al. 2023). Egysejt mRNS-szekvenálás (single-cell RNA sequencing, scRNA-seq) adatok alapján a kifejtett egérlép 11 különböző típusba sorolható alapállományi (stromális) sejtet tartalmaz (Pezoldt et al. 2021).

3.2. A GALT ontogenezise

A bélhez asszociált limfoid szövet (gut-associated lymphoid tissue, GALT) a kommenzalista és patogén mikroorganizmusok általi immunsejt-aktiváció elsődleges helyeként szolgál. Ontogenezisét genetikai, környezeti és neurogén tényezők összehangolt kölcsönhatása határozza meg. A GALT fejlődését két modell írja le.

Az *indukált fejlődési modell* szerint specifikus ingerek, például mikrobiális kolonizáció vagy antigén-expozíció serkentik a nyirokszövetek kialakulását. Ezt a fejlődési modellt alátámasztják azok a vizsgálatok, amelyek kimutatták, hogy a csíramentes környezetben nevelt egerek alulfejlett Peyer-plakkokat és izolált nyiroktüszőket mutatnak, amelyek mikrobiális kolonizáció hatására viszont helyreállíthatók (Round–Mazmanian 2009).

A *disszeminált fejlődési modell* viszont azt sugallja, hogy a nyirokszövet kialakulása diffúz jelátvitel és sejt-sejt kölcsönhatások révén történik az embrionális béltraktusban, és kihangsúlyozza a szisztémás és lokális tényezők (például citokinek és kemokinek) szerepét.

Emlősökben és madarakban a GALT kiterjedt, több szinten szervekbe rendeződött formájával találkozunk, kezdve az izolált lymphoid aggregátumoktól egészen a klasszikus T- és B-sejtes zónákat tartalmazó szekunder nyirokszövetekig. A GALT legismertebb elemei az ileális Peyer-plakkok, amelyek az embrionális fejlődés során exogén antigén inger nélkül kialakuló nyiroktüsző-aggregátumok. Fejlődését elsődlegesen limfoid szövet indukáló sejtek (LTi) irányítják, CD117, LT α 1 β 2, CXCR5, IL-7Ra sejtfelszíni molekulákat expresszálnak (Van de Pavert 2023). A folyamat első lépéseként VCAM-1+ mesenchymális sejtek a glia eredetű neurotróf faktor (GDNF) családba tartozó Artemin (ARTN) és Neurturin típusú neurotróf faktorokat szekretálnak, amelyek kemoattraktáns hatást gyakorolnak a CD45+/CD11c+/c-kit+/RET+ sejtekre. A gyakran „második agynak” nevezett bélidegrendszer (ENS) a neuronok

és gliasejtek összetett hálózata, amely a béltraktus motilitását, mucosalis szekrécióját és a bél immunitását szabályozza, fejlődésében a GDNF fehérjék és receptoruk, a RET elengedhetetlenül szükséges (Nagy–Goldstein 2017), valamint az ENS kulcsfontosságú szerepet játszik a GALT fejlődésében is. Az ARTN-RET interakció elősegíti a VCAM+ mesenchymális sejtek aktivációját és CXCL13 kemokin expresszió elindítását (Randall–Mebius 2014), hiányában a Peyer-plakkok a normál LTi jelenlét ellenére nem alakulnak ki (Veiga-Fernandes et al. 2007). Emellett az acetilkolin, vazointesztinális peptid (VIP) és szerotonin (5-HT) típusú neurotranszmitterek is befolyásolják a nyirokszövet szerveződését. Az aktivált LTo-sejtek CXCL13 kemokin expressziójukat fenntartva CXCR5+ LTi sejtek megtelepedését irányítják. A fejlődő bél lamina propriájában és szubmukózájában megtelepedő CXCR5+/LTα1β2+ LTi sejtek és a LTβR-t expresszáló LTo-sejtek kölcsönös pozitív visszacsatolással fenntartják az LTo-sejtek CXCL13 expresszióját, és további limfociták aggregációját indítják el. A T- és B-sejtes zónák kialakulásához citokinek (IL-7, VEGF-C, RANK-L), kemokinek (CXCL12, CXCL13, CCL19, CCL21) és adhéziós molekulák (VCAM-1, ICAM-1) együttes jelenléte szükséges. A GALT-ban a MAdCAM-1+ endothél sejtek segítik elő az α4β7 integrint expresszáló limfociták belépését (Berlin et al. 1993).

A GALT fontos elemeit képezik az appendix szubmukózájában található nyiroktüsző-aggregátumok (cecal patches), valamint a colon szubmukózájában kialakuló, nyiroktüszőkben gazdag régiók (colonic patches) is, kialakulásukról kevés ismerettel rendelkezünk. Egereken végzett kísérletek igazolták, hogy a colon szubmukózája a születés pillanatában CD3–CD4+RORγ+ LTi sejt aggregátumokat tartalmaz, és érése szintén CXCL13-függő. A B- és T-sejtes régiók további szerveződése egérben a születést követő két hét során fejeződik be.

A fentiek mellett a GALT legnagyobb mennyiségben megtalálható elemei az izolált limfoid aggregátumok csoportjába tartozó kriptoplakkok (cryptopatches, CP) és az ezekből fejlődő nyiroktüszők (isolated lymphoid follicles, ILF), számuk emberben 30 000-re, egerekben 1500-ra tehető. Ellentétben a klasszikus szekunder nyirokszöveti struktúrákkal, a CP, azaz a kriptoplakkok a korai posztnatális időszakban jelennek meg, mint LTi-sejtekből és dendritikus sejtekből álló mikroaggregátumok a vékony- és vastagbél kriptarendszeréhez asszociáltan. A vékony- és vastagbél izolált limfoid aggregátumainak kialakulásához LT szignál mellett a vékonybélben exogén antigén inger és CCR6 és CXCL13 általi aktiváció szükséges, míg ez a vastagbélben exogén antigén inger nélkül is megvalósul, a B-sejtek aggregációja pedig elsődlegesen egy MyD88-dependens folyamat (Baptista et al. 2013). A CP-ből kialakuló ILF-ek nem tartalmaznak T-sejtes területeket, és elsődleges szerepet játszanak a T-independens IgA-szintézisben (immunglobulin A), valamint a regulátoros T-sejtek létrehozásában, amelyek elengedhetetlenek a kommenzalista mikroorganizmusokkal szembeni tolerancia kialakításában (Russler-Germain–Rengarajan–Hsieh 2017).

3.3. Fehérvérsejt-kicserélődés és mikrokörnyezeti specializáció a nyirokcsomó-fejlődés során

A nyirokcsomók fejlődésének indukciója is több sejt összehangolt kapcsolatán alapul. Bár a halak is rendelkeznek nyirokerekkel (Panara et al. 2024), ezek szekunder nyirokszöveti hálózatba való csatlakoztatása csak az emlősökben jelenik meg. Képződésük első lépése a szervezet (idegrendszeri fejlődéshez kapcsolódó) anatómiailag specifikált helyein motoneuron-eredetű retinsav (retinic acid, RA) képzése és paraszimpatikus impulzusok, amelyek együttesen fokozzák a helyi mesenchymában az LTo-sejtek megjelenését, valamint a CXCL13 kemokintermelését (Van de Pavert et al. 2009). A korábban említett LTi-sejtek LTα1β2 és a RANK-L, valamint az LTo-sejtek LTβR és a RANK összekapcsolódásával NF-κB szignalizáció hatására fokozódik a helyi LTo-sejtek CCL19 és CXCL13 termelése, ami elősegíti a T- és B-sejtek megtelepedését.

Az LTi-sejtek kezdeti felhalmozódásában és az LTo-prekurzorok aktiválásában a regionális nyirokendothel (lymphatic endothelial cell, LEC) sejtek fontos közvetítő szerepet töltenek be (Onder et al. 2017) az LTi sejtekkel való kontaktusukat követően. A folyamat előrehaladtával további TNF-családtagok (TNF és TNFR1, valamint TNFR2) révén az egyes kompartmentekre jellemző stromasejtek differenciálódnak (így a nyiroktüsző folliculáris dendritikus sejtjei [follicular dendritic cell, FDC] és a T-zóna retikuláris fibroblasztjai [fibroblastic reticular cell, FRC]). Ezt követően a nyirokszöveti differenciált alapállományt az érett T- és B-sejtek, valamint a nekik megfelelő CCL19 és CXCL13 kemokineket termelő stromaelemek prekurzorai (marginális retikuláris sejtek [marginal reticular cell, MRC]) közötti interakciók tartják fenn, ezáltal egy LTi→T/B és LTo→MRC/FDC/FRC váltás figyelhető meg. Ez az LTi→T/B esetben sejt-kicserélődést, míg az LTo→MRC/FDC/FRC esetében helyi differenciálódási átalakulást jelent.

4. Harmadlagos nyirokszövet-fejlődés: induktivitás és kötőszöveti konverzió

Krónikus gyulladásos megbetegedésekben, valamint bizonyos daganatok esetében gyakran a strukturált szekunder nyirokszervekre jellemző, elkülönült T- és B-sejtes zónákat, specializált kötőszöveti és vaszkuláris (magas endoteliális venulák [high endothelial venules, HEV]) g komponenseket is tartalmazó komplex nyirokszövetek jelennek meg, a fiziológiás nyirokszervekre jellemző anatómiai predispozíció nélkül. Ezeket a méretükben és számukban egyedi jellegzetességeket mutató struktúrákat összefoglalóan harmadlagos vagy ektópiás nyirokszöveteknek nevezzük.

Születés után az LTi-sejtek gyakorisága nagymértékben csökken, ezeket a limfoid neogenezis során az adaptív immunválaszokban részt vevő T- és B-sejtek helyettesítik, a helyi differenciált kötőszövet transzformációjával egyidejűleg. A folyamat több szakaszra bontható, ezeket a limfoid sejtek eltérő elrendeződési mintázata

és a kötőszövet átalakulásának típusa jellemzi. Annak ellenére, hogy ezen limfoid neogenezis során az embrionális (programozott) nyirokszövet-fejlődéstől eltérő vérképző és helyi kötőszöveti elemek mutathatók ki, a molekuláris összetevői nagymértékű egyezést mutatnak a harmadlagos nyirokszövetekével, bár bizonyos faktorok esetében jellegzetes eltérések állnak fenn. Így az LTa vagy a B-sejt kemoattraktáns CXCL13 fokozott kifejezése az adott szövetben ektópiás nyirokszövetképzést válthat ki, hasonlóan a nyirokcsomó-kialakulásban betöltött szerepéhez, míg az indukálható bronchus-asszociált nyirokszövetek (Inducible Bronchus-Associated Lymphoid Tissue, iBALT) esetében nincs szükség LT-szignalizációra a nyirokszövetképződéshez (Moyron-Quiroz et al. 2004). Általában az ektópiás nyirokszövetek kialakulása erek, nyirokerek és neurális elemek környezetében diffúz limfocitakkumulációval indul, ennek során retinsav (RA), IL-17, IL-22 és TNF (valamint számos egyéb citokin) fokozza a perivaszkuláris fibroblasztok (immunfibroblaszt) CXCL13-termelését, majd egy pozitív feed-back hurok kialakítása révén CXCR5+ receptort hordozó B-sejtek és follikuláris T-sejtek felhalmozódását. A T-sejtek számára eleinte a nyirokendotél eredetű IL-7 jelenthet helyi túlélő szignált. A harmadlagos nyirokszöveteket a helyi T- és B-sejtes specializált stromális mikrokörnyezet és konstitutív CCL19/21 (T-zóna) és CXCL13 (nyiroktüsző) termelése, valamint a helyi erek magas endoteliális venula (HEV) típusú átalakulása stabilizálja, amelyek csíracentrumot tartalmazó képletekké differenciálódnak. A szövetspecifikus eltérő morfogénfüggési mintázatok alapján a harmadlagos nyirokszövetek a hálózat típusú klasszikus másodlagos nyirokszövetek megjelenéséhez nyújthatták a filogenetikai mintát.

Míg autoimmun betegségekből az ektópiás nyirokszövetek kialakulása a betegség súlyosbodását jelzi, tumorkörnyezetben ezek jelenléte általában kedvező prognózist jelent. Tumorkban az utóbbi időkben egyre szélesebb körben alkalmazott immunológiai gátlásblokkoló (immune checkpoint blockade, ICB) hatóanyagok fokozták ezen folyamatokat, ami a CXCL13-termelő T-sejtek mint LTi-analógok nyirokszövet-indukcióban betöltött jelentőségét és a harmadlagos nyirokszövetek tumorellenes immunválaszban való szerepét igazolja (Sato et al. 2023).

5. Kitekintés – szöveti regeneráció mint az immunrendszer fejlődésbiológiai oldala

A különböző szövetekben kóros körülmények között megjelenő ektópiás nyirokszövet-képződés, valamint a perifériás nyirokszövetek immunválaszt követő regenerációja felvetette az immunkompetens sejtek szerepét nyirokszövetek vagy egyéb nem limfoid szövetek helyreállítási folyamataiban. A különböző ILC-alcsoportok mellett a – főként immunszuppresszív funkciók kapcsán vizsgált – regulátoros T-sejtek (regulatory T Cells, Tregs) is szövetspecifikus mikrokörnyezeti adaptációjuk révén fontos szerepet tölthetnek be hám-, neurális, váz- és szívizomsejtek regenerációjában (Loffredo et al. 2024). Ezek alapján az immunrendszer az egyed

szöveti integritásának fenntartása mellett a már károsodott szövetek regenerálódási folyamataiban is részt vesz, melyek további vizsgálata az immunrendszer új funkcióit tárhatja fel.

Köszönetnyilvánítás

A közlemény az NKFI ADVANCED-150704 és TKP-2021-EGAncbi-10 (BP) és NKFI K-138664 (NN) által támogatott kutatásokhoz kapcsolódóan készült.

Irodalomjegyzék

- Baptista, Antonio P. et al. (2013). „Colonic Patch and Colonic Silt Development Are Independent and Differentially-Regulated Events”. *Mucosal Immunology*, 6/3, 511–521. <https://doi.org/10.1038/mi.2012.90>.
- Berlin, Cornelia et al. (1993). „Alpha 4 Beta 7 Integrin Mediates Lymphocyte Binding to the Mucosal Vascular Addressin MAdCAM-1”. *Cell*, 74/1, 185–195. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(93\)90305-a](https://doi.org/10.1016/0092-8674(93)90305-a).
- Boehm, Thomas – Bleul, Conrad C. (2007). „The Evolutionary History of Lymphoid Organs”. *Nature Immunology*, 8/2, 131–135. <https://doi.org/10.1038/nri1435>.
- Boehm, Thomas (2025). „Understanding Vertebrate Immunity Through Comparative Immunology”. *Nature Reviews in Immunology*, 25/2, 141–152. <https://doi.org/10.1038/s41577-024-01083-9>.
- Brendolan, Andrea et al. (2007). „Development and Function of the Mammalian Spleen”. *Bioessays*, 29/2, 166–177. <https://doi.org/10.1002/bies.20528>.
- Czömpöly, Tamás et al. (2011). „Transcription Factor Nkx2-3 Controls the Vascular Identity and Lymphocyte Homing in the Spleen”. *Journal of Immunology*, 186/12, 6981–6989. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1003770>.
- Fu, Yang-Xin et al. (1998). „B Lymphocytes Induce the Formation of Follicular Dendritic Cell Clusters in a Lymphotoxin Alpha-Dependent Fashion”. *Journal of Experimental Medicine*, 187/7, 1009–1018. <https://doi.org/10.1084/jem.187.7.1009>.
- Gábris, Fanni et al. (2023). „Absence of Nkx2-3 Induces Ectopic Lymphatic Endothelial Differentiation Associated with Impaired Extramedullary Stress Hematopoiesis in the Spleen”. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 11, 1170389. <https://doi.org/10.3389/fcell.2023.1170389>.
- Glick, Bruce (1995). „Embryogenesis of the Bursa of Fabricius: Stem Cell, Microenvironment, and Receptor-Paracrine Pathways”. *Poultry Science*, 74/3, 419–426. <https://doi.org/10.3382/ps.0740419>.
- Hu, Chong-Bin et al. (2023). „Single-Cell Transcriptome Profiling Reveals Diverse Immune Cell Populations and Their Responses to Viral Infection in the Spleen of Zebrafish”. *The FASEB Journal*, 37/6, e22951. <https://doi.org/10.1096/fj.202201505RRRR>.
- Kellermayer, Zoltán et al. (2011). „Absence of Nkx2-3 Homeodomain Transcription Factor Induces the Formation of Lyve-1-Positive Endothelial Cysts Without Lymphatic Commitment in the Spleen”. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 59/7, 690–700. <https://doi.org/10.1369/00221554111410061>.
- Loffredo, Lucas F. et al. (2024). „Treg-Tissue Cell Interactions in Repair and Regeneration”. *Journal of Experimental Medicine*, 221/6, e20231244. <https://doi.org/10.1084/jem.20231244>.
- Meseguer, José – Esteban, María Á. – Agulleiro, Blanca (1991). „Stromal Cells, Macrophages and Lymphoid Cells in the Head-Kidney of Sea Bass (*Dicentrarchus Labrax* L.). An Ultrastructural Study”. *Archives of Histology and Cytology*, 54/3, 299–309. <https://doi.org/10.1679/aohc.54.299>.
- Moyron-Quiroz, Juan E. et al. (2004). „Role of Inducible Bronchus Associated Lymphoid Tissue (iBAL) in Respiratory Immunity”. *Nature Medicine*, 10/9, 927–934. <https://doi.org/10.1038/nm1091>.
- Nagy, Nándor – Bódi, Ildikó – Oláh, Imre (2016). „Avian Dendritic Cells: Phenotype and Ontogeny in Lymphoid Organs”. *Developmental & Comparative Immunology*, 58, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2015.12.020>.

- Nagy, Nándor – Goldstein, Allan M. (2017). „Enteric Nervous System Development: A Crest Cell's Journey from Neural Tube to Colon”. *Seminars in Cell and Developmental Biology*, 66, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.01.006>.
- Nagy, Nándor – Oláh, Imre (2007). „Pyloric Tonsil as a Novel Gut-Associated Lymphoepithelial Organ of the Chicken”. *Journal of Anatomy*, 211/3, 407–411. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2007.00766.x>.
- Nagy, Nándor – Oláh, Imre – Vervelde, Lonneke (2022). „Structure of the Avian Lymphoid System”. In: Kaspers, Bernd et al. szerk. *Avian Immunology*. Boston: Academic Press, 11–44.
- Neely, Harold R. – Flajnik, Martin F. (2016). „Emergence and Evolution of Secondary Lymphoid Organs”. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 32/1, 693–711. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-111315-125306>.
- Oláh, Imre – Glick, Bruce (1983). „Avian Lymph Node: Light and Electron Microscopic Study”. *Anatomical Records*, 205/3, 287–299. <https://doi.org/10.1002/ar.1092050306>.
- Onder, Lucas et al. (2017). „Lymphatic Endothelial Cells Control Initiation of Lymph Node Organogenesis”. *Immunity*, 47/1, 80–92. e4. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2017.05.008>.
- Panara, Virginia et al. (2024). „The Relationship Between the Secondary Vascular System and the Lymphatic Vascular System in Fish”. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 99/6, 2108–2133. <https://doi.org/10.1111/brv.13114>.
- Pezoldt, Joern et al. (2021). „Single-Cell Transcriptional Profiling of Splenic Fibroblasts Reveals Subset-Specific Innate Immune Signatures in Homeostasis and During Viral Infection”. *Communications Biology*, 4/1, 1355. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02882-9>.
- Round, June L. – Mazmanian, Sarkis K. (2009). „The Gut Microbiota Shapes Intestinal Immune Responses During Health and Disease”. *Nature Reviews Immunology*, 9/5, 313–323. <https://doi.org/10.1038/nri2515>.
- Russler-Germain, Emilie V. – Rengarajan, Srinivasan – Hsieh, Chyi-Song (2017). „Antigen-Specific Regulatory T-Cell Responses to Intestinal Microbiota”. *Mucosal Immunology*, 10/6, 1375–1386. <https://doi.org/10.1038/mi.2017.65>.
- Sato, Yuki et al. (2023). „The Roles of Tertiary Lymphoid Structures in Chronic Diseases”. *Nature Reviews in Nephrology*, 19/8, 525–537. <https://doi.org/10.1038/s41581-023-00706-z>.
- Szöcs, Emőke et al. (2024). „Characterization and Ontogeny of a Novel Lymphoid Follicle Inducer Cell During Development of the Bursa of Fabricius”. *Frontiers in Immunology*, 15, 1449117. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1449117>.
- van de Pavert, Serge A. et al. (2009). „Chemokine CXCL13 Is Essential for Lymph Node Initiation and Is Induced by Retinoic Acid and Neuronal Stimulation”. *Nature Immunology*, 10/11, 1193–1199. <https://doi.org/10.1038/ni.1789>.
- van de Pavert, Serge A. (2023). „Layered Origins of Lymphoid Tissue Inducer Cells”. *Immunological Reviews*, 315/1, 71–78. <https://doi.org/10.1111/imr.13189>.
- Veiga-Fernandes, Henrique et al. (2007). „Tyrosine Kinase Receptor RET Is a Key Regulator of Peyer's Patch Organogenesis”. *Nature*, 446/7135, 547–551. <https://doi.org/10.1038/nature05597>.
- Vivier, Eric et al. (2016). „The Evolution of Innate Lymphoid Cells”. *Nature Immunology*, 17/7, 790–794. <https://doi.org/10.1038/ni.3459>.
- Zapata, Agustín et al. (2006). „Ontogeny of the Immune System of Fish”. *Fish and Shellfish Immunology*, 20/2, 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2004.09.005>.

75 év a magyar molekuláris élettudomány szolgálatában *Az MTA első kutatóintézetének története*

75 years in the Service of Hungarian Molecular Life Science *History of the First Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences*

Orosz Ferenc

az MTA doktora, HUN-REN TTK Molekuláris Élettudományi Intézet, Budapest
orosz.ferenc@ttk.hu

Összefoglalás

A HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont Molekuláris Élettudományi Intézet idén 75 éves. Az intézet jogelődje, az MTA Biokémiai Intézet 1950. június 1-jén jött létre, az akadémiai kutatóhálózat legelső intézeteként. Különböző neveken valamivel több mint 69 évig működött az MTA égisze alatt. Legtovább az MTA SZBK Enzimológiai Intézet névre hallgatott (1978–2011), a ma már legendás Karolina úti helyszínen (1957–2014). Első igazgatója (1950–1959), a Szovjetunióból hazatért Sztálin-díjas Szörényi Imre, évtizedekre megszabta az egységes kutatási irányt és a munkastílust, „a fehérjék kémiai szerkezete és specifikus biológiai funkciója közötti kapcsolat” tanulmányozását állítva a középpontba. Utóda, a magyar biokémia és tudománypolitika meghatározó egyénisége, Straub F. Brunó negyedszázadon át (1960–1985) vezette az intézményt, amikor is az a magyar (fehérje)biokémia fellegvárává vált. 2012 óta a munka a Természettudományi Kutatóközpont keretein belül folyik. A kutatási tematikában idővel egyre nagyobb teret nyert a sejtbiológia, genetika, bioinformatika és a molekuláris biológia is; ezt tükrözte 2023-ban a jelenlegi név felvétele.

Abstract

The HUN-REN Institute of Molecular Life Sciences of the Research Centre for Natural Sciences is celebrating its 75th anniversary this year. Its legal predecessor, the Institute of Biochemistry of the Hungarian Academy of Sciences (HAS) was established on 1 June 1950 as the very first institute in the academic research network. Operating under various names, it remained under the aegis of the HAS for just over 69 years. It was known as the Institute of Enzymology of the Biological Research Centre of the HAS (1978–2011) for the longest time, based at the now legendary Karolina Street site (1957–2014). The institute's first director, Imre Szörényi (1950–1959), a Stalin Prize winner who had returned from the Soviet Union, defined a unified research direction and working style for decades, focusing on the study of “the relationship between the chemical structure and the specific biological function of proteins”. His successor, F. Brunó Straub, a pivotal figure in Hungarian biochemistry and science policy, led the institution for 25 years (1960–1985), during which time it became the citadel of Hungarian (protein) biochemistry. Since 2012, its work has been carried out within the framework of the Research Centre for Natural Sciences. Over time, research topics have increasingly focused on cell biology, genetics, bioinformatics, and molecular biology, as reflected in the current name adopted in 2023.

Kulcsszavak: MTA Biokémiai Intézet, MTA SZBK Enzimológiai Intézet, Karolina út, Szörényi Imre, Straub F. Brunó

Keywords: Institute of Biochemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Institute of Enzymology, Biological Research Centre, Hungarian Academy of Sciences, Karolina Street, Imre Szörényi, F. Brunó Straub

A Természettudományi Kutatóközpont Molekuláris Élettudományi Intézet (amely kevesebb mint két éve viseli ezt a nevet) kettős évfordulót ünnepel: egyrészt a magyar tudományosság egészével együtt emlékezik meg az MTA alapításának 200 éves jubileumáról, másrészt saját 75. születésnapját is idén tartja. Az intézet jogelődje, az MTA Biokémiai Intézet 1950. június 1-jén jött létre. Ez volt az MTA legelső intézete; volt ugyan néhány korábban alakult kutatóintézet, azonban ezeket csak később integrálták az akadémiai kutatóhálózatba. Az intézet különböző neveken és telephelyeken valamivel több mint 69 évig működött az MTA égisze alatt. Legtovább az MTA SZBK Enzimológiai Intézet névre hallgatott (1978–2011), a ma már legendás Karolina úti helyszínen (1957–2014) (1. ábra).



1. ábra. Az MTA Enzimológiai (korábban Biokémiai) Intézetének épületei a Karolina út 29–31. alatt. Jobb oldalon a volt honvédségi, régebbi (A) épület, bal oldalon az 1969-ben átadott, újabb (B) épület.

Az intézet 1957-től 2014-ig működött a Karolina úton

Fotó: Hajdinyák Gyula

De térjünk vissza az alapításhoz! A „fordulat éve” (1948) a tudományos életben is fordulatot jelentett. Bár szóba került az MTA megszüntetése, illetve fölváltása a Gerő Ernő vezetésével megalakult Magyar Tudományos Tanáccsal, erre szerencsére (szovjet nyomásra!) nem került sor, hanem 1949-ben a két szervezet egyesült (Kónya 1990). A változások során az Akadémia szerepköre is megváltozott, aminek egyik legfontosabb eleme volt az akadémiai intézethálózat kiépítése. Ennek során új intézeteket és kutatóközpontokat létesítettek, és néhány meglévőt az MTA irányítása alá rendelték. A sorban legelső volt a Biokémiai Intézet, amely a Minisztertanács 129/1950 (V. 3.) rendelete alapján 1950. június elsején kezdte meg működését. Az intézetnek ekkor a Gyáli úton lévő Országos Közegészségügyi Intézet biztosított helyet; négy labort adott át használatra a Biokémiai Intézetnek. Az albérllet hét és fél évig tartott. (Az alapítás körülményeiről és az intézet első éveiről részletesen lásd Orosz 2010.)

Az intézet alapító igazgatója Szörényi Imre volt, akit a Magyar Dolgozók Pártja Központi Vezetősége Titkársága Kijevből hívott haza a feladatra. (Szörényi pályafutásáról bővebben lásd Orosz 2020.) Szörényit hazatérése után az MTA levelező taggá választotta. Éppen csak megszervezte az intézetet, felvette az első munkatársakat, amikor nem várt fordulat következett. Az év végén Kijevbe utazott egy konferenciára, ahol szívrohamot kapott, és hosszas gyógykezelés után, csak több mint két év elteltével, 1953 tavaszán (már Sztálin halála után) tért haza. Időközben, 1952-ben korábbi kutatásaiért megosztott Sztálin-díjban részesült.

Szörényi távolléte alatt a tapasztalatlan fiatal kutatók nem produkáltak publikálható eredményeket. Az egyetlen kivétel a Szegedről, Szent-Györgyi és Straub mellől érkező, tapasztaltabb Feuer György volt, aki ezekben az években akkori feleségével (Wollemann Mária, később az MTA SZBK Biokémiai Intézet igazgatója) együtt jegyezte az intézet valamennyi publikációját, főként az aktin működésének tárgykörében.

Szörényi 1953. márciusi hazatéréssel fordulat állt be. Az igazgató, akit ez évben az MTA rendes tagjává választottak, kézbe vette az intézet irányítását, és „a fehérjék kémiai szerkezete és specifikus biológiai funkciója közötti kapcsolat” tanulmányozását tűzte ki feladatul; az izomból és élesztőből kinyerhető glikolitikus enzimeket, köztük a glicerinaldehid-3-foszfát dehidrogenázt (GAPD) jelölte ki a vizsgálatok tárgyául. Ez szerencsés választás volt, mert ezek az enzimek nagy mennyiségben és könnyen voltak tisztíthatók, s így a kor színvonalán lehetett szerkezet-funkció vizsgálatokat végezni rajtuk. Az igazgató nagy súlyt helyezett a sokoldalú kutatásra, a fizikai, kémiai és biológiai módszerekkel való együttes megközelítésre. Emellett azonban az „ideológiai szempontból igen fontos” témák is tartották magukat egy ideig, majd lassacskán elhaltak. Ilyen volt az „élő anyag sejtté alakulásának biokémiai vizsgálata”, a hírhedt Lepesinszkaja-féle fantazmagória nyomán, amely tárgyban két cikk is született az intézetben.

1954-ben jelentek meg a közlemények szerzői között az intézet alapító tagjai, Dévényi Tibor, Keleti Tamás és Szabolcsi Lászlóné (Gertrud), és az egy évvel később kezdő Elődi Pál. Ekkor került ki az intézetből Dévényi Tibor révén az első kandidátusi értekezés, és kapott igazgatóhelyettesi megbízást Szabolcsi Lászlóné. Kinevezését az igazgató gyenge egészségi állapota tette szükségessé. (1967-ben első női biokémikusként lett az MTA levelező, majd 1979-ben rendes tagja, mindössze harmadik nőként érdemelve ki az akadémiai tagságot.) 1956-tól már érvényesült az egységes tematika hatása, s megindult a „GAPD-regényfolyam”. A beindult munkát a következő év végén történt költözködés is csak rövid időre akasztotta meg. Az intézet 1957 utolsó napjaiban került a Karolina út 29.-be, a Honvédség Egészségügyi Tudományos Kutató Intézetének helyére.

1959 legelején meghalt Szörényi Imre. Hivatalosan egy évtizedig igazgatta az MTA Biokémiai Intézetét, ténylegesen alig fél évtizedig végezte a feladatot. Ez a néhány év nemcsak ahhoz volt elegendő, hogy „pályára állítsa” az intézetet, de további évtizedekre alapvetően megszabta az egységes kutatási irányt és a munkastílust. Ha-

lálát követően egy év „interregnum” következett, az intézetben dolgozó négy kandidátus (Dévényi, Elődi, Keleti, Szabolcsi) közösen végezte az irányítást, bár Szabolcsi Gertrud megbízott igazgatóként működött.

1960-ban Straub F. Brunó vette át az intézet vezetését, bár ő maga 1970-ig kutatásait továbbra is a SOTE Orvosi Vegytani Intézetében végezte, amikor is az MTA Szegedi Biológiai Központ alapító főigazgatója lett. A Biokémiai (majd Enzimológiai) Intézetet negyedszázadon át irányította (1960–1985). Straub F. Brunó Szegeden kezdte pályáját, Szent-Györgyi Albert tanítványaként, itteni működéséhez fűződik legismertebb eredménye, az aktin felfedezése. Közéleti pályájának csúcaként a Magyar Népköztársaság Elnöki Tanácsának utolsó elnöke volt (1988–1989).¹

Straub megtartotta a kialakult intézeti struktúrát: a fehérjeanalitikai csoport (Dévényi) szekvenciavizsgálatokat végzett, a fizikokémiai csoport (Elődi) a fehérjék szerkezetét, az egyik enzimológiai csoport (Szabolcsi) a szerkezetváltozásnak az enzimaktivitásra gyakorolt hatását, a másik enzimológiai csoport (Keleti) az enzimkinetikát és -mechanizmust tanulmányozta. Később alakult még egy fizikokémiai csoport Boross László vezetésével a fehérjekomplexek vizsgálatára. A kutatói létszám ekkorra a kezdetihez képest megduplázódott (hétről tizennégyre). A munka tartalmi jellemzői sok tekintetben a korábbiak folytatását és kiteljesítését jelentették. Az intézet a magyar (fehérje)biokémia fellelőjévé vált. A négy alapító csoportvezető 1961-ben megosztva megkapta az akkor első ízben kiosztott Akadémiai Díjat, annak első fokozatát. A hatvanas évek közepére mind a négyen megírták nagydoktori értekezésüket, amelyeket közös kötetbe rendezve, kiegészítve és németre fordítva az Akadémiai Kiadó jelentetett meg 1969-ben *Strukturelle Grundlagen der biologischen Funktion der Proteine* címmel (Dévényi et al. 1969).

Az intézet későbbi igazgatója, a Szabolcsi-tanítvány Friedrich Péter évtizedek múltán a következőképpen jellemezte a művet: „Figyelemre méltó, hogy mind a kérdésfelvetés, mind a szemlélet bizonyos vonásai ma is aktuálisak. A fehérjék kémiai szerkezete és biológiai funkciója összefüggés vizsgálatát ma szerkezeti biológiának hívják [...]. A könyvet áthatja az a szemlélet, hogy a fehérjék háromdimenziós szerkezete, bár jól meghatározott, mégis motilis, szerkezeti (konformációs) változásokat enged meg, ami biológiai működésének feltétele. Erre azóta pontosan dokumentált példákat kaptunk.” (Friedrich 2001, 1071)

Ezzel kapcsolatosan Straub és Szabolcsi már 1964-ben megfogalmazta az enzimszubsztrát (fehérje–ligandum) kölcsönhatás úgynevezett fluktuációs fit modelljét (aminek legrészletesebb leírása éppen a *Strukturelle Grundlagen*-ben található) mint a Koshland által leírt „indukált fit” modell alternatíváját. Az elmúlt években a fluktuációs fit mint „konformációs szelekció” éledt újjá; sajnos kevesen tudják – és hivatkoznak –, hogy ennek eredete hová is vezethető vissza. Ennek alapvető oka, hogy először oroszul, majd németül publikálták, angolul csak egy konferenciakiadványban jelent

¹ Straub F. Brunó pályaképének megírása a magyar tudománytörténet-írás adósságai közé tartozik.

meg. Ennek okait, illetve az elmélet keletkezéstörténetét és utóéletét több publikáció is elemzi (legrészletesebben lásd Orosz–Vértessy 2021).

A korszak egy másfajta betetőzése volt az, amikor Dévényi fehérjeanalitikai csoportjában a pályáját még Szörényi alatt kezdő Sajgó Mihály, a kor maihoz képest kezdetleges metodikai módszereivel meghatározta az izom aldoláz teljes aminosavsorrendjét, ami 1973-ban Állami Díjat ért (Sajgó, Dévényi, Szabolcsi).

Szabolcsi Gertrud 1972-ig töltötte be az igazgatóhelyettesi posztot, amikor Keleti Tamás (később szintén akadémikus) lett az utódja. Ő alapozta meg a hazai enzimkinetikai kutatásokat, amely téren iskolateremtő munkásságot végzett; tanítványai (Batke József, Ovádi Judit, Kazinczyné Vas Mária) idővel az intézet vezető munkatársai, csoportvezetői lettek, majd ugyanígy az ő tanítványaik (Orosz Ferenc, Tompa Péter, Vértessy Beáta) is, akik mindhárman hosszabb-rövidebb ideig igazgatóhelyettesek is voltak; az enzimkinetika azonban már csak egy kevésbé hangsúlyos részterületét jelentette munkásságuknak.

A hatvanas években egyre több fiatal került az intézetbe, akik idővel a közelmúltig az intézet meghatározó kutatóivá váltak. Közülük elsőként az 1960-ban érkező Polgár László alakított ki önálló irányvonalat a proteázok szerkezete és funkciója terén. Egy szerin-proteáz helyspecifikus mutagenézise cisztein-proteázra kémiai mód-szerekkel (irányított aminosav-oldallánc módosítással), és ezáltal új enzim létrehozása (a génebesztet korszaka előtt, 1966-ban) „nagy dobás” volt, és nagydoktorit ért. Másik kiemelkedő eredménye volt (már a kilencvenes években) a prolil-oligopeptidáz enzimcsalád felfedezése, az enzim háromdimenziós szerkezetének és működési mechanizmusának meghatározása, amelyet az intézetből kikerült néhány *Cell* folyóiratban megjelent cikk (Fülöp–Böcskei–Polgár 1998) egyikében közölt.

Szintén ekkoriban kezdték intézeti pályájukat (1962-ben) az intézet későbbi igazgatói, Friedrich Péter és Závodszy Péter, Szabolcsi Gertrud, illetve Elődi Pál csoportjában. A későbbi csoportvezetők közül Batke József, Ovádi Judit, Vas Mária és Simon István is a hatvanas években kezdte intézeti pályafutását. Ovádi, mint azóta is sokan, tudományos diákkörösként, majd diplomamunkásként került az intézetbe; diplomamunkája a fehérjék hisztidil oldalláncának specifikus módosításáról az *Acta Biochimica Biophysica Hungarica*-ban jelent meg (Ovádi–Libor–Elődi 1967), és így is úgynevezett Citation Classikká vált; tudomásunk szerint a hazai laboratóriumban született munkák közül egyedülként.

1971-ben jelentős változás történt a magyar biológiai kutatásban. Megszületett az MTA Szegedi Biológiai Központja (MTA SZBK). Létrejöttének motorja és első főigazgatója Straub F. Brunó volt, aki már a tényleges megalakulás előtt, 1970. július 1-jétől megkapta kinevezését. E pozíciót 1978. szeptember 30-ig töltötte be. Ezalatt a Karolina úti intézet az MTA SZBK Biokémiai Intézet (amelynek igazgatója szintén Straub maradt) Enzimológiai Részlegeként működött. Főigazgatói megbízásának lejártával Straub megmaradt a budapesti intézet vezetőjének, amely ekkortól (1978. október 1.) viselte az SZBK Enzimológiai Intézet nevet, megtartva azt a 2009-es szervezeti önállósulás után is. Az SZBK-hoz való tartozás mindvégig nemcsak szervezeti,

hanem szoros szakmai kapcsolatot is jelentett, amit számos közös publikáció is fémjelzett. Az évente megtartott háromnapos SZBK Napokra (Straub halála után Straub Napok) az Enzimológiai Intézet teljes kutatóállománya levonult Szegedre.

Ebben az időszakban lettek csoportvezetők a későbbi akademikusok, Friedrich Péter, Závodszy Péter és Patthy László. Friedrich Péter az enzimek szupramolekuláris szerveződéséről írt fontos monográfiában összegezte kezdeti eredményeit (Friedrich 1984), majd témát váltva, az elemi tanulási és memóriafolyamatok biokémiai mechanizmusait vizsgálta, *Drosophila* memóriamutánsok segítségével. Közel két évtizedig volt intézeti igazgató; halála után az MTA Természettudományi Kutatóközpontja Friedrich Péter-díjat alapított.²

Závodszy Péter kezdetben biofizikai kutatásaival (H-D kicserélődés, analitikai ultracentrifuga fejlesztés) hívta fel magára a figyelmet, majd a fehérjék hőstabilitásának szerkezeti alapjait és egy immunológiai témát, a komplementrendszer vizsgálta. Ez utóbbihoz kapcsolódtak eredményei a komplementrendszer aktiválásának úgynevezett lektin útjára vonatkozóan. 2007-ben lett az intézet igazgatója, melyet három évig irányított. Mandátuma lejártával emeritus professzorként vesz részt az intézet életében. Az immunológiai témát tanítványa, Gál Péter viszi tovább, igen sikeresen.

Az 1974-ben az intézetbe kerülő Patthy László legkiemelkedőbb kísérleti eredményeit a humán plazminogén szerkezet-funkció vizsgálata során érte el. E kutatások vezették el a fehérjeevolúció néhány alapvető törvényszerűségének felismerésére: a fehérjék moduláris felépülését eredményező exonshuffling szabályainak leírásához (Patthy 1985), a fehérjék közötti távoli homológiák megállapításának módszeréhez (Patthy 1990). Alapvető monográfiája (Patthy 1999) is született a témában. A bioinformatika és funkcionális genomika területén ma is folyó kutatásai szervesen illeszkednek a korábbi témákhoz. Rajtuk kívül Batke József alakított még csoportot, amely főként enzimkinetikai vizsgálatokat végzett.

Straub F. Brunó 1986-ban nyugdíjba vonult. Utolsó, az intézet számára fontos igazgatói döntése volt, hogy felismerve azt, hogy a rekombináns DNS-technika meghonosítása nélkül a korszerű fehérjekutatás is lehetetlenné válik, 1985-ben a génsebészetben jártas Sain Bélát és feleségét, Erdei Sárát (aki egykor az intézetben diplomamunkázott) Szegedről az Enzimológiai Intézetbe hívta. Sain korai halála és Erdei távozása miatt azonban a génsebészeti módszerek alkalmazása csak fokozatosan vált megszokottá az intézetben, először Gál Péter révén Závodszy Péter csoportjában, illetve az Erdei Sára laborját átvevő, frissen megalakult Váradi-csoportban.

Straub F. Brunó után az intézet igazgatását Keleti Tamás vette át. Helyettese Friedrich Péter lett. Igazgatósága (1986–1989) nagyrészt az intézet épületeinek felújításával telt el. Keserves idők következtek. A kutatócsoportok változatos helyekre lettek beszorítva: a műhelybe, intézetünkkel szomszédos lakásokba, egy, a Farkasréti temető mögötti lakóházba. Keleti Tamás kiemelt feladatának tekintette a felújítás

² Az eddigi intézeti díjazottak: Tompa Péter (2016), Váradi András (2017), Gál Péter (2019), Monostory Katalin (2023) és Welker Ervin (2024).

ellenőrzését. A szerződést be nem tartó kivitelezővel peres ügybe keveredett. 1989 novemberében egy bírósági tárgyalásról jövet, az utcán vitte el a szívhalál.

Keleti igazgatósága alatt kapott csoportvezetői megbízást Ovádi Judit és Simon István. Ovádi kezdetben enzimkinetikával foglalkozott Keleti csoportjában, majd az enzimek kölcsönhatásaira irányult az érdeklődése. Ennek során lett az úgynevezett csatornahatás és az enzimszerveződés nemzetközileg elismert kutatója (Ovádi 1995). A későbbiekben a mikrotubuláris rendszer ultrastruktúrája, a gyógyszerbiokémia (kalmodulinantagonisták), majd a neurodegeneratív betegségek molekuláris alapjai területén ért el fontos eredményeket.

Simon István az elméleti fehérjeszerkezet-vizsgálatot honosította meg az intézetben. A kutatócsoport programjának középpontjában a fehérjeszerkezetek szerveződését meghatározó alapelvek feltárása, és a felismert elveknek a szerkezetkutatásban történő felhasználása állt. Kiemelendők a transzmembrán fehérjék szerkezeti szerveződésének és a rendezetlen fehérjék kölcsönhatásainak vizsgálatában elért eredmények. Akadémikussá választásakor iskolateremtő munkásságát is értékelték; három munkatársa (Dosztányi Zsuzsa, Fuxreiter Mónika, Tusnady Gábor) is nyert Lendület-pályázatot.

Keleti Tamás váratlan halála után a politikai rendszerváltás hevében az intézet életében először (és utoljára) titkos szavazással valamennyi dolgozó véleményt nyilváníthatott arról, hogy ki legyen az igazgató. A nagy többség Friedrich Péter mellett döntött, aki 17 évig irányította az intézetet, helyettese Patthy László lett.

Friedrich Péter egyik legelső intézkedése volt a korábban Dévényi Tibor, majd Patthy László csoportjában dolgozó Várad András csoportvezetői kinevezése. Az úgynevezett ABC transzporterek, köztük a multidrog-rezisztenciáért felelős membránfehérjék szerkezet-funkció összefüggéseit, transzkripció szabályozását és az e fehérjéket kódoló gének mutációja okozta betegségek molekuláris hátterét vizsgálta, szoros együttműködésben Sarkadi Balázsnak a szomszéd intézetben székelő – elnevezésében folytonosan változó (OVSZ, Haematológiai Intézet stb.) – kutatócsoportjával. Közös tanítványaik ma az intézet csoportvezetői (Homolya László, Orbán Tamás, Szakács Gergely). Szintén ekkor lett csoportvezető a pályáját Boross László mellett kezdő, majd Keleti Tamással folytató Kazinczyné Vas Mária. Munkássága a szerkezeti biokémia megjelöléssel írható le legjobban; már akkor ezt művelte, amikor még nem vált divatos kifejezéssé.

Friedrich Péter igazgatósága alatt, 2000-ben az SZBK, s benne az Enzimológiai Intézet is, elnyerte Az Európai Unió Kiválósági Központja (Centre of Excellence, CoE) címet.

Már ezután történt, hogy évtizedes szünet után új kutatócsoportok jöttek létre az intézetben. Vértessy Beáta (korábban Keleti Tamás, majd Ovádi Judit csoportjának tagja) többéves külföldi posztdoktori tanulmányok után hazatérve 2001-ben elnyerte a The Howard Hughes Medical Institute (HHMI) International Research Scholars Program pályázatát, és ezzel csoportot alapított. Kutatócsoportja a multirezisztens ráksejtvonalak elleni újszerű, innovatív alkalmazások kidolgozásában ígéretes útvo-

nalnak tűnő DNS-javítás és timinmentes sejthalál területén végez kutatásokat; elsősorban a DNS-javításban és a nukleotid bioszintézisben részt vevő dUTPáz enzimcsalád szerkezeti biológiáját és életteni szerepét vizsgálja. Vértessy a 2010-es évektől a BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék tanszékvezetőjeként is működött, majd 2022-ben az MTA levelező tagjává választotta, így Szabolcsi Gertrudot követően ismét női akademikust adott az intézet.

2004-ben Liliom Károly, szintén az Ovádi-csoport korábbi tagja kapott lehetőséget önálló munkára, majd a 2010-es években a SOTE Biofizikai Intézetébe távozott.

Tompá Péter még a Friedrich-csoport tagjaként kezdett önálló témába, amelynek nemzetközileg is egyik úttörője és meghatározó személyisége: a rendezetlen fehérjék szerkezet-funkció összefüggéseinek kísérleti és bioinformatikai vizsgálatával foglalkozik. Ez utóbbi kezdetben szoros együttműködésben folyt a Simon-csoporttal; ennek egyik eredménye a rendezetlenség predikciójára alkalmas, gyakran használt módszer megalkotása. Megírta a terület első monográfiáját (Tompá 2009). Munkássága alapján 2011-ben felkérték a brüsszeli Flamand Biotechnológiai Intézet Szerkezeti Biológiai Intézetének (Vlaams Instituut voor Biotechnologie, VIB) megszervezésére és igazgatására, azonban 2022-ig intézeti csoportját is megtartotta, melyet ekkor Tantos Ágnes vett át.

2007-től 2010-ig Závodszy Péter vezette az intézetet; helyettese előbb Tompa Péter, majd a SOTE Orvosi Vegytani Intézetéből (az egykori „Straub-intézet”) érkező Buday László lett. Závodszy igazgatósága alatt az intézet külső kényszerre (az új kincstári törvényi előírások miatt nem maradhatott meg egy intézményként a több telephelyű kutatóközpont) 2009-ben kivált az SZBK-ból, és néhány évig önálló intézetként működött.

2009-ben Buday László lett az intézet első, a Lendület Program keretében pályázatot nyert csoportvezetője. Az általa vezetett Jelátviteli Munkacsoport az úgynevezett állványfehérjék szerepét vizsgálja a tirozin-kinázok jelpályáiban. A Lendület Program 2009-ben kezdődött az MTA elnökének kezdeményezésére, fiatal kutatók „hazacsábítására” és itthon tartására, önálló kutatócsoport vezetésére, a hazai viszonyokhoz képes jelentős fizetést és kutatási támogatást biztosítva ötéves időszakra.

Amikor Buday László, akit hamarosan akademikussá is választottak, a következő évben (2010) igazgatóvá lépett elő, csak részben sejthette, hogy mire vállalkozik. Már ekkor napirendre került, hogy az intézet elhagyja a Karolina utat, és a lágymányosi egyetemi kampuszon épülő MTA Kutatóházba költözik az MTA Kémiai Kutatóközpont intézeteivel és további intézetekkel együtt.

2011-ben az MTA közgyűlése Pálinkás József elnök javaslatára arról döntött, hogy az akadémiai intézethálózat széttagoltságát megszünteti, és az önálló intézeteket kutatóközpontokká vonja össze. A lágymányosi Kutatóházba költöző intézményeket is összevonták: három kémiai, egy fizikai és egy pszichológiai intézet mellé került az Enzimológiai Intézet. 2012. január 1-től szervezetileg létrejött az MTA Természetudományi Kutatóközpontja (MTA TTK). A költözésre 2014 elején került sor; már-

cius 31-ig kellett átadni a régi telephelyet, amely a továbbiakban az MTA Ökológiai Kutatóközpont Vízi Ökológiai Intézetének adott otthont. Az összezsírozódás nehezen ment, viszont kétszeresére nőtt az intézet alapterülete, és szakmai szempontból a TTK-ba való tagolódás új távlatokat nyitott meg az intézet fejlődése előtt.

Mindeközben az intézet jelentős belső átalakuláson ment keresztül, és a kutatóközponton belüli súlya is jelentősen megnőtt. 2014-ben megszűnt a TTK Molekuláris Farmakológiai Intézete, és az év márciusától csoportjai más TTK-beli intézetekhez kerültek, legnagyobbbrészt az Enzimológiához; vagyis az új telephelyen már megnövekedett létszámban kezdtük meg a munkát. Az ekkor az intézetünk tagjaivá váló kutatók jelentős része Sarkadi Balázs akadémikus vezetésével az egykori Haematológiai Intézetben dolgozott, és több évtizedes munkakapcsolatban állt az Enzimológiai Intézet Váradi András vezette csoportjával.

A bővülés másik oka a szinte folyamatosan létesülő Lendület-kutatócsoportok megalakulása volt. Buday Lászlót követően 2010-ben Szakács Gergely, Váradi és Sarkadi tanítványa került vissza „lendületesként” az intézetbe az Egyesült Államok Nemzeti Rákkutató Intézetéből (National Cancer Institute), aki multidrogrezisztens sejtek elleni hatékony, új gyógyszerek tervezésével foglalkozik. (Két év múlva a European Research Council Starting Grantet is elnyerte, majd 2019-ben tanszékvezető egyetemi tanári kinevezést kapott a Bécsi Orvostudományi Egyetemen [Medizinische Universität Wien].) Őket követően 2014-ig Szűts Dávid, Homolya László, Tusnády Gábor, Györffy Balázs, Than Nándor Gábor, majd szinte évtizedes szünet után 2023-ban Róna Gergely alakíthatott csoportot.

Szűts Dávid korábbi teljes tudományos pályáját Angliában töltötte, és az ott megkezdett, a DNS-polimerázokra és a genomstabilitásra vonatkozó kutatásait folytatja az intézetben. Homolya László Sarkadi Balázs tanítványaként a Molekuláris Farmakológiai Intézetben alakított csoportot, onnan került az Enzimológiai Intézetbe, hasonlóképpen Than N. Gábor is, aki a reprodukció rendszerbiológiájával foglalkozik. Tusnády Gábor, Simon István neveltje házon belülről érkezett, és folytatta tovább bioinformatikai munkásságát. Ezen a területen működik Györffy Balázs is, a bioinformatikai eszközöket az onkológiai kutatás szolgálatába állítva. Róna Gergely, Vértessy Beáta korábbi doktorandusza az USA-ból hazatérve hozta létre a DNS Hibajavítás Kutatócsoportot. Monostory Katalin csoportja is a Molekuláris Farmakológiai Intézet részleges beolvadásakor került az intézetbe. Spisák Sándor abszolút „outsider”-ként, hosszú amerikai kutatóévek után alapította meg az intézetben az Epigenetika és Genomszerkesztés Kutatócsoportot (2023), míg a legújabb a Nagy András által 2024 végén elnyert Research Grant Hungary (RGH_24) támogatással létrejött Molekuláris Sejt Medicina Kutatócsoport. Az intézet jelenleg is működő csoportjainak története és aktuális kutatási irányainak részletes leírása megtalálható az intézet jubileumi kiadványában (Hunyady–Orosz–Monostory 2025).

Buday László 2022-ben a TTK főigazgatója lett. A megüresedett intézetigazgatói széket sikeres pályázat után Hunyady László akadémikus, a Semmelweis Egyetem Ál-

talános Orvostudományi Karának korábbi dékánja, az Élettani Intézet vezetője nyerte el. (Ezzel nem szakadt meg a hagyomány, hogy az intézet mindenkori igazgatója az MTA tagja, vagy ha nem, akkor igazgatóként taggá választják.) A SOTE-n működő csoportját is megtartva, az intézetben létrehozta a Sejtélettani Kutatócsoportot. Kezdeményezte az intézet nevének megváltoztatását Molekuláris Élettudományi Intézetre. A hagyományos „Enzimológiai” megjelölés már a Karolina úti idők vége felé sem tükrözte a ténylegesen folyó kutatások mibenlétét, egyre nagyobb teret nyert a sejtbiológia, genetika, bioinformatika és mindenekelőtt a molekuláris biológia. A Lendület-nyertesek érkezése és a Molekuláris Farmakológiai Intézet csoportjainak átvétele az után végképpen anakronisztikussá tette az elnevezést.

Nemrégiben újabb kívülről érkező változások következtek. A 2019. évi LXVIII. törvény értelmében az MTA kutatóközpontjai és intézetei elkerültek az Akadémiától, és az újonnan létrehozott Eötvös Loránd Kutatóhálózat (ELKH) részévé váltak, amely 2023-tól a HUN-REN (az angol Hungarian Research Networkből) nevet vette fel. Bár az irányítószerv megváltozott, ez a TTK belső működésére nem volt lényeges hatással. A kézirat készültekor még nem világos, hogy az intézethálózat hamarosan beálló új jogi helyzete milyen változásokat hoz az életünkbe.

A Molekuláris Élettudományi Intézetben 2025-ben 78 minősített kutató, köztük 6 akadémikus és 12 akadémiai doktor dolgozott. Vezető munkatársaink négy egyetemen (ELTE, SOTE, BME, PPKE) oktatnak is, így hagyományosan (lásd a már említett példákat) sok egyetemi hallgató készíti el itt a diplomamunkáját, majd PhD-értekezését; eddig 183 PhD-értekezés született az intézetben. A fiatal munkatársak képzése az intézeti utánpótlás nevelésének is a legfontosabb útja.

Irodalomjegyzék

- Dévényi, Tibor et al. (1969). *Strukturelle Grundlagen der biologischen Funktion der Proteine*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Friedrich, Peter (1984). *Supramolecular Enzyme Organization. Quaternary Structure and Beyond*. Oxford–Budapest: Pergamon Press – Akadémiai Kiadó.
- Friedrich Péter (2001). „Tudományos értékek és tudományos kedély”. *Magyar Tudomány*, 162/9, 1069–1074.
- Fülöp, Vilmos – Böcskei, Zsolt – Polgár, László (1998). „Prolyl Oligopeptidase: An Unusual β -Propeller Domain Regulates Proteolysis”. *Cell*, 94/2, 161–170. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(00\)81416-6](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(00)81416-6).
- Hunyady László – Orosz Ferenc – Monostory Katalin, szerk. (2025). *75 éves a HUN-REN TTK Molekuláris Élettudományi Intézet (korábban Enzimológiai Intézet)*. Budapest: HUN-REN TTK.
- Kónya Sándor (1990). „A Magyar Tudományos Akadémia és a Magyar Tudományos Tanács egyesítése (1949)”. *Magyar Tudomány*, 97/2, 212–229.
- Orosz Ferenc (2010). „A hatvanéves MTA Enzimológiai Intézet első évtizede”. *Magyar Tudomány*, 171/12, 1486–1491.
- Orosz Ferenc (2020). „Szörényi Imre, az egyetlen Sztálin-díjas magyar tudós”. *Magyar Tudomány*, 181/9, 1164–1173. <https://doi.org/10.1556/2065.181.2020.9.3>.
- Orosz, Ferenc – Vértessy, Beáta G. (2021). „What’s in a Name? From ‘Fluctuation Fit’ to ‘Conformational Selection’: Rediscovery of a Concept”. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 43/3, 88. <https://doi.org/10.1007/s40656-021-00442-2>.

- Ovádi, Judit – Libor, Zsuzsa – Elődi, Pál (1967). „Spectrophotometric Determination of Histidine in Proteins with Diethylpyrocarbonate”. *Acta Biochimica et Biophysica Hungarica*, 2/4, 455–458.
- Ovádi, Judit (1995). *Cell Architecture and Metabolic Channeling*. Austin: R. G. Landes Co.
- Patthy, László (1985). „Evolution of the Proteases of Blood Coagulation and Fibrinolysis by Assembly from Modules”. *Cell*, 41/3, 657–663. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(85\)80046-5](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(85)80046-5).
- Patthy, László (1990). „Homology of a Domain of the Growth Hormone/Prolactin Receptor Family with Type III Modules of Fibronectin”. *Cell*, 61/1, 13–14. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(90\)90208-V](https://doi.org/10.1016/0092-8674(90)90208-V).
- Patthy, László (1999). *Protein Evolution*. Hoboken, NJ: Blackwell.
- Tompa, Peter (2009). *Structure and Function of Intrinsically Disordered Proteins*. London: Chapman & Hall/CRC Press.

George Klein (1925–2016) ars poeticája

George Klein's (1925–2016) Ars Poetica

Szabó Gábor

az MTA doktora, Debreceni Egyetem Biofizikai és Sejtbiológiai Intézet, Debrecen
szabog@med.unideb.hu

Összefoglalás

George Klein 2025. július 28-án lett volna 100 éves. Sejtbiológus, immunológus, rákkutató, esszéíró, a Karolinska Intézet Tumorbiológiai Intézetének alapítója és igazgatója 35 éven át, egy maga teremtette szakmai-intellektuális *world wide web* szellemi központja, 35 éven keresztül a Fiziológiai és Orvostudományi Nobel-díj Bizottság titkára. Tudományos felfedezései alapvetőek és iránymutatóak voltak a daganatok elleni immunválasztól kezdve a virális fertőzések keletkezésükben betöltött szerepén keresztül azok genetikai hátterének alapvető mechanizmusáig terjedő hatalmas spektrumban. Nagy sikerű esszéi izgalmas tudományos, társadalmi, emberi, művészeti kérdéseket taglalnak a tisztánlátás és a kristálytisztta fogalmazás erejével, az objektív és szubjektív tapasztalatokat egyedülállóan szintetizálva. Életének legtöbb pillanatát saját törvényei szerint és az intenzív szellemi aktivitás *flow* állapotában tölthette.

Abstract

George Klein would have turned 100 on 28 July 2025. He was a cell biologist, immunologist, and cancer researcher, as well as an essayist. He was the founder and director of the Karolinska Institute for Tumour Biology for 35 years, the intellectual centre of a worldwide professional-intellectual web of his own creation. He was also the secretary of the Nobel Prize Committee for Physiology and Medicine for 35 years. His scientific discoveries have been fundamental and seminal across a vast spectrum ranging from the immune response to tumours and the role of viral infections in their pathogenesis to the basic genetic mechanisms underlying them. His highly popular essays tackle fascinating scientific, social, human, and artistic issues with clarity of vision and expression, uniquely synthesizing objective and subjective experience. He appears to have spent most of his life according to his own rules, in a state of intense intellectual flow.

Kulcsszavak: tumorbiológia, EBV, kromoszóma transzlokációk, Karolinska, esszéíró

Keywords: tumour biology, EBV, chromosomal translocations, Karolinska, essayist

George Klein 2025. július 28-án lett volna 100 éves. Sejtbiológus, immunológus, rákkutató, esszéíró, a Karolinska Intézet Tumorbiológiai Intézetének alapítója és igazgatója 35 éven át, egy maga által teremtett szakmai-intellektuális *world wide web* szellemi központja. George, ahogy intézetében, az általa létrehozott Tumorbiológiai Intézetben és végtelenül tág nemzetközi szakmai ismeretségi körében általában mindenki hívta, Georg a svéd anyanyelvűeknek, Gyuri azoknak a szerencsés magya-

roknak, akik vele személyes kapcsolatba kerülhattunk.¹ Születésnapjai, hazalátogatásai, esszéinek megjelenése, elhunytá alkalmából számos róla szóló írás jelent meg (Gergely 2005; Szabó 2005; Csermely 2016; Ernberg–Kärre–Wigzell 2017; Hargittai 2017), több interjú született („Ahogy egyik dolog...”; „A körök bezárulnak...” 2015; Eszéki 2016; „A banánlégy is ember” 2010), amelyek taglalják pályafutását, bemutatják személyiségét, élettörténetét. Ezek sorába illeszkedik a jelen írás, a hatalmas életmű és kivételes személyiség szubjektív lenyomataként.

George Klein (a továbbiakban George, ahogy őt – volt munkatársai, egymás között – emlegetjük) tudományos pályafutása több mint hét évtizedet ölel fel. Az egyik első jelentős felfedezése az volt, hogy a daganatsejt-variánsok véletlenszerűen keletkeznek a tumorsejt-populációkban és darwini szelekción mennek keresztül szolid rosszindulatú daganatok aszcitesz konverziója során (Klein 1953). Ekkor még a daganatok keletkezésének genetikai hátteréről semmit sem lehetett tudni. Kísérleti sikerének egyik sarokpontja a nagyszámú beltenyésztett egértörzsek kolóniájának létrehozása egy korai, a Fox Chase-ben eltöltött négy hónapos ösztöndíj hozadéaként, ahonnan 200 beltenyésztett egeret hozott magával a repülőn (Ernberg–Kärre–Wigzell 2017).

A hatvanas években ő és felesége, Éva Klein megalapozták a tumorimmunológia alapjait, amikor igazolták, hogy a kémiai úton indukált rákos sejtek tumorspecifikus transzplantációs antigéneket expresszálnak, amelyek immunológiai kilöködési választ képesek kiváltani. Mindazonáltal az immunrendszer csupán korlátozott védelmet nyújt a daganatok ellen, és elsősorban a víruseredetű tumorok esetében bizonyul hatékonynak (Klein, G.–Klein, E. 1956; 1964). Ezek a kulcsfontosságú felfedezések világszerte számos kutató közreműködésével fantasztikus fejlődést indítottak el, amely mára elvezette az orvostudományt a rák immunterápiájának küszöbére.

Henry Harrisszel együttműködve kimutatta, hogy az egészséges és a rákos sejtek fúziója során a rákos fenotípus szuprimálódik, de kiújul a normál sejtek bizonyos kromoszómáinak elvesztése során (Harris et al. 1969). Ez az alapvető megfigyelés vezetett, sok más csoport molekuláris genetikai munkái nyomán, a tumorszupresszor gének felismeréséhez.

A hetvenes években George feleségével együtt (1. ábra) kulcsfontosságú felfedezéseket tett a vírusheredű rák kialakulásában betöltött szerepével kapcsolatban. A Burkitt-limfóma és a herpeszvírusok közé tartozó Epstein–Barr-vírus (EBV) közötti kapcsolat felfedezése felkeltette George érdeklődését. Ahogy Bakács Tibor is említi „Eva Klein, a tumorimmunológia anyja” című cikkében (lásd ugyanezen

¹ A szövegben idézőjel mutatja, amikor George saját írásaiból szó szerint idézek. Mások George-ra vonatkozó utalásai is idézőjelbe téve szerepelnek, angol eredeti esetén saját (SzG) fordításban. Kiemelten támaszkodtam Sümegi János, Gergely Lajos és Minárovits János számomra elküldött visszaemlékezéseire, valamint a *Dear Eva, Dear George. 180 Years and Beyond* összeállításra, amely sok volt munkatársa reflexióit fűzi össze (The George and Eva Klein Foundation, GEKF). Utóbbiért köszönet Ingemar Ernbergnek és Marie Arsenian-Henrikssonnak (MTC, Karolinska Institutet).

tematikus összeállítást), Nairobi (Kenya) Központi Kórházából hetente érkeztek a betegekől származó friss Burkitt-limfómaminták és savók, melyeken az intézet dolgozói késő éjfélig dolgoztak.



1. ábra. Éva és George Klein, Karolinska Intézet, 2013

Forrás: saját fotó (A Klein házaspár által küldött videófelvételtől kiemelt pillanatkép; SzG)

Érzékeny módszereket dolgoztak ki a vírus antigének kimutatására, a látens vírusfertőzésre jellemző sejtmagi fehérjék (Epstein–Barr nuclear antigen, EBNA) sorát írták le, a herpeszvírusok daganatkeltő szerepével kapcsolatban nagy hatású publikációik jelentek meg (Klein 1974; Kallin et al. 1986), a témát felölelő egyik nagy nemzetközi konferencia főszereplői voltak.

A szakmai sikersorozat következő korszaka a Burkitt-limfómában nagy gyakorisággal jelentkező specifikus kromoszóma-transzlokációkkal volt kapcsolatos. Sümegi János, aki George tudományos munkássága ezen fejezetének kulcsszereplője volt, így ír erről:

„Az 1980-as évek és az 1990-es évek eleje a daganatbiológia forradalmi átalakulásának időszaka volt, amikor áttörő felfedezések a rákot összetett genetikai rendellenességgként határozták meg. A molekuláris genetika, citogenetika és sejtbológia terén elért előrelépések lehetővé tették az onkogenezis mechanizmusainak eddig soha nem látott pontosságú feltárását. Ebben az időszakban a protoonkogének, tumorszuppresszor gének és sejtciklus-szabályozók azonosítása megalapozta a modern daganatdiagnosztikát és cél-

zott terápiákat. Kiemelkedő áttörést jelentett a kromoszomális transzlokációk szerepének felismerése a protoonkogének aktivációjában, amelyben úttörő szerepet játszott George Klein laboratóriuma a Karolinska Intézetben. Kutatócsoportja visszatérő transzlokációkat azonosított Burkitt-limfómában, eger plazmacitómákban és patkány immunocitómákban, feltárva egy fajokon átívelő, konzervált mechanizmust. Klein azt feltételezte, hogy az avian leukosis vírus által indukált csirke limfómákban megfigyelt promóterinsertációs modellhez hasonlóan egy kritikus protoonkogén mindhárom daganattípusban aktiválódott azáltal, hogy transzkripcionálisan aktív génlokuszok szabályozása alá került. Konkrétan azt hipotetizálta, hogy ezek a kromoszomális átrendeződések a *c-myc* gént az immunglobulin gén szabályozó elemeinek irányítása alá helyezték (Fahrländer et al. 1985). A mechanizmus később a B-sejtes limfomagenézis egyik kulcsfontosságú hajtóerejeként igazolódott. Ez az áttörő felismerés világszerte ösztönözte a kromoszomális átrendeződések és az onkogén aktiváció kutatását.” (SJ ezen visszaemlékezéshez SzG számára elküldött kiegészítése)

Arra a kérdésre, hogy melyik felfedezését emelné ki munkái közül, az onkogén aktivációval kapcsolatban született hipotézisét megfogalmazó *Nature*-közleményét említette (Klein 1981), és azt laikus közönség számára ezzel a hasonlattal illusztrálta: a transzlokációk (és több egyéb genetikai esemény) hatása az onkogénekre olyan, mint a „csengő, ami fennakadt”. Intézetében a kutatások kiterjedtek az MYC család tagjainak funkcióira, szabályozására, a pRB-E2F tengely működésére, a p53 és VHL (Von Hippel–Lindau) tumorsuppresszorokra, utóbbira egyes szolid tumorokra jellemző transzlokációk kapcsán. Pályafutása utolsó egy-két évtizedében a komplementer kérdés érdekelte: miért van az, hogy három emberből kettőnél nem alakul ki rák? A normális fibroblaszt környezet tumorsuppresszálo hatásának szerepét gyanította (abból a Beatrice Mintz által először leírt megfigyelésből kiindulva, hogy teratokarcinoma sejtek normál embriókba történő beültetése során a daganatos sejtek normális differenciációja következik be) és vizsgálta munkatársaival, egészen a halála előtti napokig.

A Magyar Tudományos Akadémia mellett öt másik akadémia tagja, illetve tiszteletbeli tagja volt. Csaknem 30 rangos nemzetközi díjat kapott (többet Évával megosztva). 1988-ban a Debreceni Tudományegyetem díszdoktora lett. Számos díja közül említsük itt csak a Semmelweis Budapest Awardot és a General Motors Sloan-díját. Előbbi átadása alkalmából tartott előadását azzal kezdte, hogy ez a nap igen fontos a számára, hiszen 70 évvel ezelőtt pontosan ugyanezen a napon szökött meg egy deportálónatról. Utóbbi díj átadásáról dolgozósobája falán egy fekete-fehér fotó tanúskodott, amelyen az USA akkori elnökével együtt volt látható. 1957-től 35 éven át a fiziológiai és orvostudományi Nobel-díj-bizottság titkára volt.

Sok hazai kutató fordult meg intézetében és járult hozzá a fenti felfedezésekhez. Gergely Lajost (Debreceni Egyetem) George és Éva úgy emlegették, mint aki a virológiát megalapozta a Karolinskán, ahol Sümegi János SZBK-ból eredeztethető moleku-

lárís biológiai szakértelmével szintén úttörő jelentőségű munkát végzett, nyolcévnyi kintléte alatt jelentősen hozzájárulva a transzlokációk onkogénaktiváló szerepének felismeréséhez. Több mint 100 doktori disszertáció született George irányítása alatt, és csaknem 1400 publikáció (elgondolkoztatott, mikor mondták, hogy egyik onnan publikált cikkem pont az ezredik George közleményei sorában...). Én egy budapesti nemzetközi hematológiai kongresszuson ismerkedtem meg vele, még pályám kezdetén, vicces körülmények között. Odamentem hozzá egy fogadáson és közöltem, hogy igaziból nem is vele, hanem a lányával (Éva Kleinnel...) szeretnék beszélni, akinek olvastam egy érdekes cikkét a co-capping jelenségről. Ott helyben meghívtak egy rövidebb tanulmányútra, később János Onkogén-csoportjában dolgoztam két és fél évig. Kapcsolatom velük egy debreceni látogatásuk nyomán vált igazán személyessé, és tágult horizontja a szakmán túlra.

George saját egyénisége kialakulásában nagy jelentőséget tulajdonított az asszimiláns zsidó család sikerorientált értékrendjének, apátlan – autoritásmentes – neveltetésének és ezzel együtt az őt körülvevő nők (édesanyja, apai nagyanyja) bizalmának, támogatásának. „Jó apa nincsen, ez a szabály” – idézi Sartre előbbi kontextusba illő megállapítását egyik esszéjében (Klein 1994, 89), másfelől: „Jaj annak, akinek gyenge, kishitű vagy érzelmileg labilis anyja volt! Ennél már csak egy szál gatyában állni Grönland jéghegyei közt lehetett rosszabb.” (Klein 2001a, 277) Apja betegségben halt meg, amikor George másfél éves volt. Édesanyja a stockholmi zsidó temetőben nyugszik, nagyanyja több közeli rokonával együtt Auschwitzban veszett oda.

Gimnáziumi éveinek stimuláló szellemi környezetét jól jellemzi a következő történet. Fiatalkorában egy ideig hitt Istenben. Világnézetének megváltozásáról így írt: „Barátom nem volt hívő. Minden rábeszélőképességemet latba vetettem, hogy bebizonyítsam neki Isten létezését. A második hét végére barátomat teljesen meggyőzték az érveim, miközben én magam visszavonhatatlanul elveszítettem hitemet. Beláttam, hogy érveimet a vágyaim diktálták. Súlytalanok voltak.” (Klein 2001b) Diáktársaival való beszélgetések során alakult ki a kultúra egésze iránti intenzív érdeklődése; tanárai kevésbé járultak ehhez hozzá: „Létezett a század elején egy csodálatos háromszög, Prága, Bécs, Budapest, és ennek még éltek a maradványai, és ezt a szellemet az idősebb diákok az önképzőkörökön, beszélgetéseken örökítették tovább.” (Klein 2001b)

Azon viszonylag kevesek közé tartozott, akik elolvashatták az Auschwitzból megszökött két szlovákiai deportált beszámolóját. Annak minden szavát elhitte, nem úgy, mint a legtöbben, rokonait is beleértve. Vállalva a közvetlen életveszélyt, megszökött a transzportból, amely őt is a haláltáborba vitte volna, köszönhetően egy nyitott hátsó ajtónak egy vasútállomáson és egy figyelmetlen őrnek, saját merészségének, helyzetfelismerő képességének (Klein 2001b). „Megtiltotta magának”, hogy felszálljon arra a vonatra (Eszéki 2016).

Hamis papírokkal bujkált Budapesten a háború végéig. Ezt követően beiratkozott a szegedi orvostudományi egyetemre, ahol három hónap alatt három szemesztert abszolvált, majd visszatért Budapestre, amint az egyetem itt is működni kezdett. Kutatási tapasztalatokat először Huzella Tivadar professzor mellett szerzett. Stockholmba egy

svéd diákszervezet révén került, amelynek magyarországi szervezőjével Pesten együtt vizsgázott anatómiából, aki a sikeres vizsga feletti eufóriában invitálta meg. Évával alig néhány hét ismeretség után köteleződtek el egymás mellett: George Stockholmból visszajött érte, egyetlen nap alatt megszerezték a szükséges papírokat és kiutaztak. Suzanne Cory így írt róluk: „A tiétek az egyik leginspirálóbb és legstrapabíróbb szerelmi történet, amit ismerünk.” (*Dear Eva, Dear George*, 2022) Miután Casperssonnál (egyetlen beszélgetés után állást ajánlott neki „első és egyetlen főnöke”) doktori fokozatot szerzett, 1957-ben a Karolinska tumorbiológiai tanszékére jelölték személyes professzori székre. Ekkor már világszerte a legnagyobbak által elismert tudós; például szuperlatívuszokban referál róla Joshua Lederberg Casperssonnak írt 1955-ös levelében (Lederberg 1955). A parlamenti(!) szavazásra 1957. április 30-án, Walpurgis napján került sor – az egyik szociáldemokrata képviselő meggondolta magát, a párt politikai irányvonala ellen szavazott, így a professzori állást jóváhagyták. 1960-ban a Swedish Cancer Society adománya tette lehetővé, hogy létrehozzák a világ egyik első integrált tumorbiológiai intézetét egy számukra létesített háromszintes épületben, amely egyesítette a genetika, a sejtbiológia, valamint a fertőzések és az immunrendszer rákban betöltött szerepének kutatását.

George kivételes intellektuális tulajdonságai közül talán a legszembeötlőbb a memóriája volt. Nyelvtudása „skáláján legfelül anyanyelvem, a magyar áll, majd ezt követi sorrendben a svéd, az angol, a német, a francia és a héber. Olaszul csak nagyon keveset tudok, de ez elég ahhoz, hogy részleteket olvassak Dantétól és más klasszikus költőktől, akiknek a művei mélyen megérintenek” (Klein 2001b). Magyaráról svédre és svédről magyarra szinkrontolmácsoló Kertész Imre stockholmi beszélgetését modelálva, máskor egy német nyelven előadott szakmai előadást angolra egy teljes szemináriumon keresztül. Tanúja voltam, amint izraeli kutatóintézetbe való látogatáshoz ajánlólevelet írt héberül. Klas Kärre története közös izraeli látogatásuk kapcsán róluk: „George ott állt a tükör előtt. Borotválkozott, miközben egy szakmai cikket és egy héber nyelvű verset egyszerre tanulmányozott, mindkettőt a tükörré erősítve.” (*Dear Eva, Dear George*, 2022) Ötvenéves korában kezdett héberül tanulni. Eitan Yefenof (Hebrew University) szerint George „mind a beszélt, mind az írott modern és óhéber nyelvet elsajátította” (*Dear Eva, Dear George*, 2022). Pontosan emlékezett a különböző sejtvonalak egy adott kísérleti megfigyeléssel összefüggésbe hozható vagy azokkal össze nem egyeztethető tulajdonságaira (mintegy személyes ismerősei voltak) és az évtizedekkel korábban olvasott *József és testvéreinek* részleteire egyaránt. Úgy tűnt, amit már megértett, interpretált és elraktározott, azt bármikor nyomdakészen elő tudta hívni. A házukban zajló egyik szakmai beszélgetésen valakire emlékeztették, akivel korábban komoly konfliktusa lehetett. George annyit mondott: „Nagyon kérelek, ne említsd a nevét. Nagy nehezen sikerült elfelejtenem” (SzG emléke).

Minden érdeklődési körébe tartozó témában átfogó és mélyre hatoló kérdéseket tett fel. Miért nem alakul ki rákos megbetegedés az emberek egy jelentős hányadában? Mi a szexuális szaporodás evolúciós előnye? Mi a közös az európai szellemtörténet nagyjainak alkotásaiban az élet napfényes oldalára fókuszáló Újvilág művészi

megnyilvánulásaival összehasonlítva – Márai Sándor, Albert Camus, James Joyce, Stefan Zweig, Oszip Mandelstam, Borisz Paszternak, Joszif Brodskij és mások írásairól, Ingmar Bergman, Andrej Tarkovskij, Luis Buñuel, Federico Fellini, Michelangelo Antonioni, Szabó István, Rainer Weiner Fassbinder filmjeiről gondolkozva. A „tragic sense of life” (Klein 2005), találta meg a legpontosabb – személyes – választ. Ez a következtetés fellelhető a kérdéskör szakirodalmában is, a gondolathoz George saját olvasmányain és személyes élményein keresztül jut el és fogalmazza meg azt a tisztánlátás magaslatáról, magával sodróan. Néha tévedett: Svante Pääbo ír arról, hogy miután szóvá tette, hogy George korábban negatív minősítő kontextusban beszélt valahol egy érzékeny témáról („Mapplethorpe fotóinak homoerotikus és szadomazochista aspektusai”), korrigálta álláspontját róluk (*Dear Eva, Dear George*, 2022). Visszaemlékezésében, ugyanitt, Ingemar Ernberg is színezi a róla alkotott képet, „George nehezen keretbe foglalható személyiségére” utalva.

Az őt érdeklő kérdésekre választ az adott terület, kérdéskör legnagyobb, legmeszebb látó reprezentánsaival közvetlenül kommunikálva kereste, majd fogalmazta meg, leginkább svédül és angolul, halálpontos verbalitással. Úgy tűnt, mindaz, amit tudott és egyszer megértett, interiorizálódott, önmaga részévé vált, és átítatta minden tevékenységét, műfajtól függetlenül. Dante *Irfernó*jával kapcsolatban írta: „Amikor egy terzina az olasz eredetiben »come«-val kezdődik (»mint« az angolban), tudom, hogy egy metafora következik, amely az én életemről szól, itt és most.” (Klein 2005) Jól példázza ezt az attitűdöt a magyarul is megjelent esszéi egyikében (Klein 2001a, 152) olvasható részletes, szubjektív Rilke-elemzése, melyhez – különösen az *Orpheusz*, *Eurüdiké*, *Hermész* esetében – a hangulati háttér és különös motivációt a halálközelség élménye adta, sztentműtétje kapcsán altatásra várakozva. Ugyanebben a kötetben említi (Klein 2001a, 97) a schopenhaueri együttérzés-fogalmat (mint az egyetlen, önzéstől mentes szeretetmegnyilvánulást). George gondolkodásában és megnyilvánulásaiban ez az együttérző üzem mód igen tág értelemben tetten érhető volt: a tudományos megismerés eszközeként is, vagy amikor önmagát is kívülről, tárgyilagos érdeklődéssel analizálta és a mások iránti segíteni akarás és tudás számtalan példájában. Utóbbiak egyikének tanúja voltam: egy asszisztensnő a Tumorbiológia földszinti folyosóján egyszer csak fenyegetőzni kezdett egy üveggel a kezében, hisztérikusan kiáltozott, majd a földre vetette magát, sírt, rángatózott. George-nak valaki felszólt, aki azonnal lejtött, letérdelt mellé, beszélt hozzá, simogatta a fejét. Megnyugtatta... Sose láttam még ilyen nagynak.

Intellektusa nagyon széles értelmezési tartománnyal rendelkezett. Érdekelte az emberré válás evolúciója, a beszéd, a nyelvek elsajátításának mechanizmusa, az ember szociális magatartási formái és az állatoké közötti kapcsolat, a szépirodalom, a komolyzene. (Kevésbé a képzőművészet, a dzsessz egyáltalán nem és kifejezetten irritáltak a felszínesen érzelmes kulturális termékek, ezekhez humorérzéke sem volt [egyszer elküldtem neki a műfajában remek *Love Actually* című filmet, innen tudom...].) 60. születésnapján egy Bartók-darabot adott elő zongorán. Fiatalkorában partitúrával a kezében élvezte az operákat a kakasülőről.

A művészi és tudományos megismerés, reflexió számára elválaszthatatlan volt: „Levelezőtársaim, vitapartnereim és kritikusaim néha azt mondják rólam, hogy egyformán benne élek mind a két világban, a humán és a természettudományos kultúrában. Nem tudom. Soha nem találtam semmilyen lényegi különbséget némely irodalmi vagy zenei remekmű megismerése közben érzett – és bármikor feleleveníthető – kamaszkori elragadtatásom és a biológia területén lényegében autodidakta módon kialakított kutatói érdeklődésem között. Egyazon lét két aspektusáról van szó.” (Klein 2001b) Ugyanitt: „Rosalind Franklin – akivel neves férfikollégái oly csúnyán bántak –, amikor a röntgendiffrakciós képeken először látta meg a DNS-molekula szabályszerűségeit, állítólag azt kiáltotta: Milyen gyönyörű molekula! Ezzel mindent elmondott.”

Ahogy az objektív tudomány és az emberi kultúra szubjektívebb eszközökkel megközelíthető megnyilvánulásai egyaránt érdekelték, a tudományos megismerés számára személyes hangon szólalt meg: az őt érdeklő témákban felhalmozott levelezéseit, közlemények másolatait elsősorban a kollégák, barátok neve szerint rendszerezte. Ha a szintén terjedelmes szépirodalmi munkássága valamelyik írását elküldte, nem a kritikai véleményedre volt kíváncsi, hanem arra, hogy milyen érzéseket keltett benned az írás. Az őszinte, nyílt, rejtett agenda nélküli kommunikáció működött vele egyedül. Nagyon nem szerette az üres, formális megnyilvánulásokat. Egy közismerten udvariaskodó modorú egyetemi hivatalossággal való (itthoni) találkozójáról jövet kérdezte: „Ki volt ez a szörnyű ember?” (SzG emléke)

A legnagyobb emberekkel tartott kapcsolatot (a tudomány számos ágának világhírű képviselőivel Gajdusektől Watsonig, zeneszerzőkkel [például Ligeti], írókkal [például: Kertész, Nádas], filmrendezőkkel [például Szabó István], az Auschwitzból megszökött egyik szlovák deportálttal) – illetve ők vele. Csermely Péter említi: „Csodálatos történetek ezreit ontotta ránk. Az egyik így kezdődött: »Amikor Arthur Rubinsteinnel és Isaac Sternnel együtt vacsoráztam...« Egy másik pedig így: »Tegnap írt nekem egy e-mailt a svéd király...«”. (Csermely 2016) A hálózatelméleti becsléshez képest, miszerint a földön kb. 5-6 emberen keresztül mindenkihez el lehet jutni, a nagy emberek világát egyetlen áttételen keresztül tette megközelíthetővé azok számára, akik őt ismerték. A Tumorbiológián töltött időszak után egy későbbi potenciális postdoc állást keresve szerettem volna pár laborba ellátogatni az USA-ban. George-ot kértem, hogy írjon ajánlóleveleket néhány helyre. Intézményigazgatók fogadtak és töltöttek velem órákat a Sloan Ketteringben (Memorial Sloan Kettering Cancer Center), a NIH-ben (National Institute of Health), a Frederickben (National Cancer Institute at Frederick). (Nem lehettek illúzióim afelől, hogy ez kinek szólt...) Írásaiban olyan emberek nagyságának titkát elemezte, mint Bartók és McClintock (Klein 2008) és olyanok ellentmondásos megnyilvánulásait például az eugenika kapcsán, mint Muller és Crick (Klein 2001a, 221).

Naptára negyedórákra volt betáblázva. „El akarod venni tőlem a fő örömforrásomat?” – kérdezte, ha alkohollal kínálták. George az *Absolute Workaholic* volt – valószínűleg más-más konnotációval a családja, illetve tágabb környezete számára.

Ő ezt az állapotot flow-nak nevezte, Csíkszentmihályi Mihály nyomán. De ez nem oka, hanem következménye volt egy intenzív érzésnek, rá- vagy felhangoltságnak, aminek érdekes aspektusát világítja meg egy beszélgetése egy híres karmesterrel, akitől ezt kérdezte Székely László (a Karolinska Intézet munkatársa) emléke szerint: „Neked mi a szorongásod?”

Kék kardigánban és puha otthoni papucsban járt-kelt az intézetben, ajtaja mindig nyitva állt, kivéve azt a fél órát, amikor délben a szeminárium előtt Évával aludtak. Sokáig személyesen tartotta a kapcsolatot munkatársaival, akiket gyakran hívott meg a házába, aztán a hatékonyság jegyében bevezette a „Friday letters” rendszerét: péntekenként kellett írásban beszámolni a heti fejleményekről. George írásbeli választát hétfőn délelőtt hozta, levelekkel teli bevásárlókosarával az intézetbe érkezve, úszás, szaunázás után. Maria-Teresa Bejarano így ír erről: „Egy utolsó »Friday letter«: ezek a levelek egy felfedező folyamat részei voltak, amelyben közölhattuk – közölhattuk, nem pedig jelentettük – saját nézeteinket a témákról, az elvégzett kísérletekről, azok eredményeitől a következtetéseinkig és a folytatással kapcsolatos gondolatainktól egészen addig, hogy milyen közleményeket olvastunk, milyen következtetéseket vontunk le és miért.” (*Dear Eva, Dear George*, 2022) Sokat utazott, ezért három példányban kellett neki elküldeni a leveleket: arra a címre, ahol még lehetett, ahol valószínűleg volt és ahova onnan ment, hogy biztosan megkapja, és azonnal tudjon válaszolni. Bárhol lehetett, megkapta. Feltalálta a folyamatos és globális elérhetőséget – azt, amit ma az e-mail biztosít. Kiterjedt levelezését közvetlen munkatársaival, külföldi kollégákkal közvetlen szakterületéről és egészen távoliakról, a világ intellektuális krémjével és ide nem sorolható barátaival 4–7 titkárnő bonyolította, diktafonba mondott üzeneteit gépegelve. Levelei aláírása ez volt: „George – diktálta, de nem olvasta.” Fejben tartotta és elképesztő lényeglátással foglalta össze egész kongresszusok lényeges mondanivalóit fél-egy órában.

Önéletrajzi írásait (hasonlóan minden információhoz, amelynek szakmai-emberi jelentőséget tulajdonított) rendszeresen megosztotta az intézet munkatársaival (és számtalan levelezőpartnerével), mindenki mindent tudott, vagy tudni vélte róla, kalandos élettörténetét, szépirodalmi reflexióit, rengeteg szellemi élményét. Ebből következően is az intézet tele volt George-történetekkel, ha egymással találkoztunk, mindig azonnal rá terelődött a beszélgetés: hallottad, hogy a hetvenedik születésnapja körül majdnem belefulladt a Lidingö szigetén lévő háza (Kottlavägen 10.) közelében lévő tóba, amikor Japánból hazatérve, nem tudva, hogy közben melege fordult az időjárás Stockholmban, megolvadt a jég, hazaérkezése után reggel bement a tó jegére futóléccel, ami beszakadt alatta [...] egy szomszéd észrevette, hogy egy nyilvánvalóan örült valaki Jézust játszik, azonnal hívta a mentőket, szerencsére egy mentőhelikopter épp arra járt és kimentette?... és így tovább. David Baltimore számolt be a következő esetről:

„1975 októberének első hetében Alice Koppenhágában volt egy leukémiával kapcsolatos szakmai találkozón, melynek egyik ülése azon a napon zajlott, amikor a Nobel-díjat bejelentették. Egy nagyon ismert svéd virológus, George

Klein vezette az ülést, aki így szólította fel előadása megtartására: »Annyi ideje van, amennyit csak akar.« Ilyet soha senki nem szokott mondani... Miután a feleségem és az ülés többi résztvevője elmondták az előadásait, George felállt, és igen ékesszólóan (erről híres volt) összefoglalta az ülést. Már fél tizenkettő felé járhatott az idő, amikor George így szólt: »Nincs több mondanivalóm, de fél óra múlva bejelentik a Nobel-díjat Svédországban és tudom, ki fogja megkapni, és azt hiszem, tudnotok kell, mert a leukémiával kapcsolatos.« Bejelentette, hogy Howard, én és Renato Dulbecco kapjuk a díjat...» (David Baltimore 2021–2022).

Zur Hausentől származik a következő történet:

„Amint George beszállt a kocsiba, megkérdezte, hogy Ethel-Michele vagy én nem bánnánk-e, ha diktálna néhány levelet. Így is tett, és egyetlen megszakítás kivételével Göttingenben, az ötórás út alatt végig diktálta a leveleket, míg nem Freiburgba értünk. Ez idő alatt összefoglalta azokat a beszélgetéseket, amelyeket különböző kollégákkal folytatott ezen a találkozón, általában úgy, hogy megköszönte a beszélgetéseket és olyan gondolatokat vetett fel, amelyek a személyes eszmecserét követően merültek fel benne. Éva egy alkalommal röviden közbevágott, és közölte velünk, hogy alapvetően nem egy férfihez, hanem egy diktafonhoz ment feleségül, de George nem reagált a megjegyzésre, figyelmen kívül hagyta. Amikor az út során, két óra múltán Göttingen közelébe értünk, George megkérdezte, hogy megállhatnánk-e ott, és kereshetnénk-e egy uszodát.” (*Dear Eva, Dear George*, 2022)

Egy részben hasonlóan zajló közös útra én is emlékszem – akkor George egy repülőút után szemellenzővel letakarva izolálta magát és aludt a kocsiban, míg Éva az út menti pipacsokban gyönyörködött. George 80. születésnapja kapcsán megjelent írásában (Klein 2005) Éva idézi barátjukat, Bächer Ivánt, aki a házaspár nála tett vidéki látogatását nagyon kedvesen és találóan írja le, George öntörvényű, autonóm attitűdjének vicces oldalát érzékeltetve. Bächer Iván ugyanezen alkalomból Pesten, az Akadémián talán ugyanerről a látogatásról mesélve említette, hogy a házba belépve George megállt és a *déjà vu* érzésével nyilatkozta ki a gyermekkorából ismert tárgyra rámutatva: *Légypapír!*

Intézetében otthonra lelhetett szinte bárki, akinek volt kutatói ambíciója. A „Friday letters” szelíd kényszeren alapuló rendszerének keretein túl munkatársai erőteljesebb vezetői visszajelzéseket nem kaptak. Robert Weinberg írta róla: „Egyesek úgy vélik, hogy a tudományban csak a saját álláspont és a saját karrier agresszív népszerűsítésével lehet sikert elérni. Te éppen az ellenkezőjét mutattad meg számomra: hogy a szelíd szavak és a szelíd viselkedés attitűdje ugyanolyan hatékony – de ugyanakkor csodálatra méltó.” Gergely Lajos pedig így emlékezik: „Rögtön feltűnt az a közvetlen baráti légkör, amely az intézetét jellemezte. A takarítók is csak George-nak szólították. [...]

kérésére a látogatók egy-egy órát töltöttek az Intézet hasonló kutatásokkal foglalkozó dolgozóival. Így sikerült az akkori tudományos élet legkiválóbb képviselőivel személyesen is megismerkedni.” (*Dear Eva, Dear George*, 2022)

Egyik utolsó könyvének (Klein 2011) mottója egy Babits-vers címe: „*Nunquam revertar*” (Babits Mihály, *Szimbólumok*, 4.). Ahogy Dante sem tért vissza Firenzébe, ahonnan menekülnie kellett, úgy ő sem korábbi hazájába. Soha nem használta a hazamenni vagy az otthon szót, Évával is mindig (négy szemközt is) svédül beszélgettek. Nem azonosult magyar gyökereivel, és svédnek sem vallotta magát: „haza helyett enyém a világ sokfélesége”, idézett egy Nobel-díjas német költőnőt. Otthont teremtett (Klein 2016).

Esszéiből, a vele való beszélgetésekből kiragadott, szöveggörnyezetük nélkül is érthető és ma különösen aktuális idézetekkel fejezem be a megemlékezést:

„A hipotéziseknek kísérletileg cáfolhatóknak kell lenni. Verifikációjukra adig gondolni sem szabad, amíg a cáfolatukra irányuló minden elképzelhető erőfeszítésünk kudarcot nem vallott.” – „Az ember számára rákkeltő anyagok között a dohányzás a felhőkarcoló. Ezzel összehasonlítva minden más eltörpül.” – „Milyen érzés egyedül állni a teljes elutasítással szemben? Jó érzés, itt és most.” – „Emberi méltóságunk fontos építőelemének tartom, hogy legalább megpróbáljunk szembeszállni azzal a velünk született hajlandóságunkkal, hogy becsapjuk magunkat.” – „Az irracionalitás szüntelen háborút vív a racionalitással. A babonáság újabb és újabb változatai kürtölik világgá vagy szívrogtatják szét tanításaikat a modern technológia eszközeivel.” – Kreativitás csak „szabad, hierarchiák alatt nem görnyedő, a mindent-mindennel összekapcsoló asszociációknak kedvező” helyzetben bontakozhat ki. „A hierarchia – mérge.” – „A mandarin-szisztémában egy ember kezében van a hatalom. Minden előrejutás és érvényesülés ettől függ. [...] Megöli a szabad gondolkodást, megöli a tudományt. A fiatal emberek nem tanulják meg, hogy saját szemükre és fülükre hallgassanak.” – „A fontos különbség nem az alapkutatás és az alkalmazott kutatás között van, hanem a jó kutatás, és a középszerű vagy rossz kutatás között. Rossz kutatást nem érdemes csinálni. Jó kutatást mindig érdemes csinálni, mert nem lehet előre látni, hogy mi lesz belőle. Tudományt részleteiben tervezni nem lehet. Területeket lehet stimulálni nagy vonalakban, pénzbefektetéssel, de a részleteket a tudósokra kell hagyni. Alkalmazásukat csak egy bizonyos mértékig lehet stimulálni. Amikor valami megéri alkalmazásra, az úgy leesik, mint az érett alma. Fontos megtalálni a jó kutatókat és lehetőségeket adni nekik.” – „Milyen üzenetet tudok hagyni a magyar tudósoknak? Meg kell tartani azt a csodálatos intellektuális és sok területen alkotó tradíciót mind a természet-, mind a szellemtudományokban, ami itt 100 évvel ezelőtt uralkodott. Ez ma is él, így nem felélesztést, hanem továbbfejlesztést kívánok. [...] Kérem vegyék ezt úgy, mint egy itt született ember őszinte óháját.” Mélységesen elkötelezett volt a tudomány és az ideológia abszolút szétvá-

lasztása mellett: „Minden ideológia rombolóvá válik, amint vezető szerepet tulajdonítanak neki.” – „Az ideológiák a vártnál gyorsabban omlanak össze.”

George Klein, Georg Klein, Klein György december 10-én, a Nobel-napon, délután fél ötkor hunyt el 2016-ban, miközben a Nobel-díjátadó ünnepség a Stockholm belvárosi Konserthusetben zajlott. Élt 91 évet – annak legtöbb pillanatát önazonosan, saját törvényei szerint és az intenzív szellemi aktivitás flow állapotában.

Irodalomjegyzék

- „A banánlégy is ember”. *Medical Online* (2010. júl. 29.). https://medicalonline.hu/kitekinto/cikk/a_bananlegy_is_ember.
- „Ahogyan egyik dolog a másikhoz vezet. Palackposták Georg Kleintől”. *bdarvas.hu* [Darvas Béla honlapja] (letöltés: 2025. júl. 9.). <https://bdarvas.hu/portre/idn3502>.
- „A körök bezárulnak. Beszélgetés Klein György professzorral” (2015). [Hollósy Ferenc interjúja]. *Természet Világa*, 146/1, 2–7. https://epa.oszk.hu/02900/02926/00025/pdf/EPA02926_termeszeti_vilaga_2015_01_02-07.pdf.
- Csermely Péter (2016). „91 év a tudomány és a humánus szolgálatában”. *Semmelweis Hírek* (2016. dec. 14.). <https://semmelweis.hu/hirek/2016/12/14/eletenek-92-eveben-elhunyt-dr-klein-gyorgy/>.
- „David Baltimore” [David Zieler interjúja] (2021–2022) *Heritage Project* (letöltés: 2025. júl. 9.). <https://heritageproject.caltech.edu/interviews/david-baltimore>.
- Dear Eva, Dear George. 180 Years and Beyond* (2022). In Honour of George and Eva Klein. Stockholm: The Georg and Eva Klein Foundation. <https://static1.squarespace.com/static/5a694c24e45a7c5d46596f1d/t/63c32f4dc4b623793a71f71f/1673736015810/Zhang%2C+S.+A+tribute+to+George+and+Eva+Klein%2C+2022.pdf>.
- Eszéki Erzsébet (2016). „Az analitikus elme ébersége. Georg Klein: Haza helyett”. *Olvass bele* (2016. okt. 9.). <https://olvassbele.com/2016/10/09/az-analitikus-elme-eberege-georg-klein-haza-helyett/>.
- Ernberg, Ingemar – Kärre, Klas – Wigzell, Hans (2017). „George Klein (1925–2016)”. *Nature*, 542, 296. <https://doi.org/10.1038/542296a>.
- Fahrlander, Paul D. et al. (1985). „Activation of the C-Myc Oncogene by the Immunoglobulin Heavy-Chain Gene Enhancer after Multiple Switch Region-Mediated Chromosome Rearrangements in a Murine Plasmacytoma”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 82/11, 3746–3750.
- Gergely János (2005). „Klein György és Éva 80 évesek”. *Magyar Tudomány*, 166/12, 1589–1593.
- Hargittai István (2017). „Klein György (1925–2016)”. *Magyar Tudomány*, 178/2, 202–209.
- Harris, Henry et al. (1969). „Suppression of Malignancy by Cell Fusion”. *Nature*, 223, 363–368.
- Kallin, Bengt et al. (1986). „Four Virally Determined Nuclear Antigens Are Expressed in Epstein-Barr Virus-Transformed Cells”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 83/5, 1499–1503. <https://doi.org/10.1073/pnas.83.5.1499>.
- Klein, Eva (2005). „Georg Klein and His Birthdays”. *MTC News*, 56.
- Klein, George (1953). „Conversion of Solid into Ascites Tumours”. *Nature*, 171, 398–399.
- Klein, George – Klein, Eva (1956). „Genetic Studies of the Relationship of Tumour-Host Cells: Detection of an Allelic Difference at a Single Gene Locus in a Small Fraction of a Large Tumour-Cell Population”. *Nature*, 178, 1389–1391.
- Klein, George – Klein, Eva (1964). „Antigenic Behaviour of Moloney Lymphomas: Independence of Virus Release and Immunosensitivity”. *Science*, 145, 1316–1358. <https://doi.org/10.1126/science.145.3638.1316>.
- Klein, George (1974). „Herpesviruses and Oncogenesis”. *Nature*, 252, 348–349.
- Klein, George (1981). „The Role of Gene Dosage and Genetic Transpositions in Carcinogenesis”. *Nature*, 294, 313–318.

- Klein, Georg (1994). *A tudomány körül. Válogatott esszék*. Összeáll. Kúnos László. Budapest: Gondolat Kiadó.
- Klein, Georg (2001a). *Vak akarat és önző DNS. Válogatott esszék*. Budapest: Magvető Kiadó.
- Klein György (2001b). „Két kultúra”. Ford. Schnöller Mária. *Ponticulus Hungaricus*, 5/12, https://web.archive.org/web/20221005224538if_/https://ponticulus.hu/rovatok/huhogok/klein-gyorgy.html.
- Klein, George (2005). „European Writings – and the Tragic Sense of Life”. *Nexus Instituut*, <https://nexus-instituut.nl/publication/nexus-97>. (Az esszét kérésre e-mailen elküldöm: szabog@med.unideb.hu).
- Klein, Georg (2008). *Meteoror: tre lysande säringar*. Albert Bonniers Förlag. (Magyar fordításban: *Üstökösök. Három öntörvényű élet*. Budapest: Corvina Kiadó.)
- Klein, Georg (2014). *Üstökösök. Három öntörvényű élet*. Budapest: Corvina Kiadó.
- Klein, Georg (2011). *Jag återvänder aldrig. Essäer i Förintelsens skugga*. Stockholm: Albert Bonniers Förlag.
- Klein, Georg (2016). *Haza helyett*. Budapest: Corvina Kiadó.
- Szabó Gábor (2005). „2×80”. *Biokémia*, 19/4, 69–71.

Eva Klein, a tumorimmunológia anyja (1925–2025)

Eva Klein, the Mother of Tumour Immunology (1925–2025)

Bakács Tibor

az orvostudomány doktora, HUN-REN Rényi Alfréd Matematikai Kutatóintézet, Budapest
a HepC Zrt. tudományos igazgatója, Budapest
tiborbakacs@gmail.com

Összefoglalás

A Nobel-díjas Szent-Györgyi Albert szerint a felfedező ugyanazt nézi, mint mindenki más, de csak ő gondol arra, ami senkinek sem jutott eszébe. Ilyen felfedező volt Klein Éva is. Bár Éva mindig férje „árnyékában” dolgozott, mégis a tumorimmunológia egyik megalapítójának tartják.

Abstract

According to Nobel laureate Albert Szent-Györgyi, a discoverer sees the same things as everyone else, but thinks of things that no one else has thought of. Éva Klein was one such discoverer. Although she always worked in her husband’s “shadow”, she is considered one of the founders of tumour immunology.

Kulcsszavak: tumorimmunológia, vírusok, kémiai karcinogének, mutációk, tumorimmunológiai forradalom

Keywords: tumour immunology, viruses, chemical carcinogens, mutations, revolution of tumour immunology

„Van az elevenek országa meg a holtak országa, s a híd a szeretet;
csak az marad meg, az az élet egyetlen értelme.”
(Thornton Niven Wilder, *Szent Lajos király hiánya*)

Klein György professzor 1975-ben hívott meg a Karolinska Intézet Tumorbiológiai Intézetébe, ahol két évig kandidátusi disszertációmon dolgoztam. A Karolinska a világ egyik leghíresebb orvosegyeteme, az orvosi Nobel-díjról is itt döntenek. A Tumorbiológiai Intézetet Gyuri számára alapították 1957-ben, amelyet 1993-ig vezetett. Egy évig családtagként laktam együtt Évával és Gyurival (*1. ábra*) Stockholm egyik előkelő negyedében, Lidingőben. Ezért ez a megemlékezés szubjektív.

Témavezetőm, Klein Éva (Gyuri felesége) az éppen akkor felfedezett természetes ölkö sejtek (natural killer cells, NK) szeparálásával bízott meg. Bár a svéd Rolf Kiesslinget és az amerikai Ronald Herbermant tartják az NK-sejtek felfedezőinek, az eredeti érdem Éváé. Ugyanis Éva ismerte fel elsőként, hogy az NK-sejtekkel érdemes foglalkozni.



1. ábra. Klein Éva és Klein Gyuri, 1979

Forrás: National Cancer Institute, Wikipedia, közkincs

Az NK-sejtek felfedezése

Az 1970-es években mindenki a tumorspecifikus T-sejteket kereste, amelyek az akkori konszenzus szerint immunitást biztosítanak a rosszindulatú daganatokkal szemben. Akkor még általános volt az a feltételezés, hogy a szervezetet ugyanúgy lehet immunizálni a daganatokkal szemben, mint ahogy a védőoltásokkal lehet védekezni a fertőző betegségek ellen. Az akkor még ismeretlen, „nem T-, nem B-sejtnek” nevezett NK-sejtek viszont a daganatok széles spektrumát pusztították el a laboratóriumban (*in vitro*). Ezt a nem specifikus aktivitást laboratóriumi műterméknek tartották, ami zavarta a feltételezett immunitást biztosító T-sejtek kutatását. Ezért kellett az NK-sejteket a sejtszuspenzióból eltávolítani. Az 1970-es években még nem létezett fluoreszcenciával aktivált sejtválogatás (Flourescence Activated Cell Sorting, FACS), amellyel akár néhány sejtet is ki lehet szelektálni több millió másik közül. Az NK-sejtek szeparálása mai szemmel primitív módszerekkel végzett nehéz feladat volt, legalább nyolc órán át tartott, nagy sejtvészteséggel járt, és sokszor még így sem sikerült tiszta frakciókhoz jutni (Bakacs–Gergely–Klein 1977). Éva azért (is) szeretett velem dolgozni, mert (öt

idézem) „Tibor minden sejttel el tud számolni”. Többek között Rolf Kiessling is engem kért meg, hogy saját kísérleteihez szeparáljam az NK-sejteket. Ma már tudjuk, hogy az NK-sejtek milyen fontos szerepet játszanak a daganatsejtek, illetve a vírussal fertőzött sejtek elpusztításában.

Az NK-sejtkutatás elindítása az 1970-es években jó példa Éva csodálatos képességére, hogy sokszor jóval mások előtt ismerte fel egy tudományos probléma jelentőségét. Erről a Nobel-díjas Szent-Györgyi Albert megjegyzése jut eszembe, aki szerint a felfedező ugyanazt nézi, mint mindenki más, de csak ő gondol arra, ami senkinek sem jutott eszébe. Ilyen felfedező volt Éva is. Éváról viszont nem lehet férje, Klein Gyuri nélkül írni, mert 1948-ban kötött házasságuk óta gyakorlatilag állandóan együtt dolgoztak. Gyuri a világ egyik legelismertebb rákkutatója lett Stockholmban (szerintem Nobel-díjat is kapott volna, ha nem lett volna állandó tagja az orvosi Nobel-díjat odaítélő bizottságnak). Bár Éva mindig Gyuri „árnyékában” dolgozott, mégis a tumorimmunológia egyik megalapítójának tartják.

Találkozás a Balatonnál

Gyuri így írt Éváról, amikor először találkoztak:

„A második napon a másik két fiú lement a vonathoz, hogy a Farmakológiai Tanszékről találkozzanak egy másik hallgatóval, aki csatlakozott hozzánk. Nem tudtam, hogy ki az, és mivel a magyar személyes névmás férfi és nő között nem tesz különbséget, azt sem tudtam, fiút vagy lányt várunk. Egy idő után láttam őket felmenni a dombra az új vendéggel: egy sötét hajú lánnyal, furcsa, lélegzetelállító szépséggel. A vidámság és a bánat, a komolyság és a játék szokatlan kombinációját láttam a szemében. Éva volt, leendő feleségem és kolléganőm a mai napig. Korábban is láttam őt az egyetemen, de megszállott munkavégységem megakadályozott, hogy figyelmet szenteljek rá vagy bármely másik lányra. Ennek ellenére nagyon jól emlékszem, hogyan találkoztam vele először. Szegedi orvosi tanulmányaim második napján a dékáni hivatalban álltam a papírjaimért. Síöltözetben lépett be, egy hosszú és kalandos budapesti utazás után érkezett a városba, akárcsak én. Megkérdezte, hogyan szerezhetne papírokat. Láttam, hogy nagyon szép. Eredetinek és rokonszenvesnek tűnt, ahogy egy idegen fiúval beszélt – ami akkor még nagyon szokatlan volt egy lánytól Magyarországon. Az elkövetkező hetekben láttam néhány előadáson, de aztán eltűnt. Később láttam a nevét a városi színház plakátjain. Kis szerepeket játszott Pirandello- és Molière-darabokban. Fél év múlva újra láttam őt Budapesten. Visszatért az orvosi tanulmányokhoz, és néha eljött bemutató boncolásaimra. Mivel Éva ugyanahhoz a hallgatói csoporthoz tartozott, mint vendéglátóim, egy este összeházasztunk. A romos villában, ahol laktam, csak három ép szék volt az asztal körül, mi pedig hatan voltunk. Ezért mindegyik székre egy-egy

deszkát fektettünk, hogy kettesével elférjünk az asztal körül. Évával ugyanarra a deszkára ültünk, és össze kellett hangolni mozdulatainkat, hogy ne essünk le. Ez a triviális probléma elindított egy érintkezést, amely néhány óra elteltével olyan szenvedéllyé alakult, amely elemi erővel töltötte be teljes tudatomat. Minden más, ami addig érdekelt, úgy tűnt el, mintha soha nem is létezett volna. Nyolc napot töltöttem a tónál, mámorban úszva, miközben teljesen kiszakadtam a valóságból. A hetedik napon váratlan távirat érkezett. Minden el volt intézve a svédországi utazáshoz! Most viszont már a leghalványabb vágyam sem volt elmenni. Nagyon el voltam keseredve, hogy el kell hagynom azt, aki mindennél fontosabb lett számomra. A balatoni hét örökkévalóságnak tűnt, miközben korábbi életem valószerűtlenné vált. De egy homályos felelősség érzése arra készítetett, hogy menjek. Vasárnap hajnalban indultam el. Éva később elmesélte, hogy félálomban hallotta a vonat füttyülését, és arra gondolt, hogy most egy gyönyörű nyári epizódnak van vége. Nem hitte el, hogy valaha is visszajövök Svédországból, vagy hogy újra látni fog. Sok bonyodalom után, 1948 márciusában, Éva csatlakozott hozzám, mikor Magyarországon már leereszkedett a vasfüggöny.” (Klein, G.–Klein, E. 1989)

Gyuri minden percét tudománnyal töltötte

Korán reggel otthon kezdte a munkát, majd a kijavított levelekkel és kéziratokkal beült a Volvójába, és amíg beért az intézetbe, ami egy 40 perces út volt, kézi diktafonjába mondta leveleit, csak a sebességváltásnál tartott szünetet (nem volt még e-mail, internet, se mobiltelefon). Útközben megállt titkárnője lakásánál, bedobta a postaládába a javított levelezést és a diktafon betelt szalagját, és elvitte a titkárnő által tisztázott leveleket, ami már egy borítékban oda volt készítve. Ilyenkor személyesen nem is találkoztak egymással. Mivel együtt laktunk, Gyuri felajánlotta, hogy bevisz az intézetbe. Gondoltam, ez jó alkalom lesz beszélgetni (akkor még nem ismertem Gyuri munkamódszerét). Elindultunk, és én elkezdtem kérdezni Gyurit, aki a második mondatnál leállított. „Ha azt hiszed, hogy van időm veled beszélgetni, akkor tévedsz. Vagy csöndben maradsz, vagy menj be vonattal.” Az utóbbit választottam. Gyuri még a szaunában is kéziratokat javított, ezért a szerzők cikkeiket sokszor úgy kapták vissza, mintha a kutya szájából szedték volna ki. Ilyen intenzitású munka mellett Gyuri a gyerekek nevelésében és a háztartásban semmit se segített Évának.

Évának mindig Gyuri „árnyékában” kellett dolgoznia

Éva több mint 100 kutatót nevelt (köztük engem is), akik közül sokan intézetvezető rákkutatók lettek. Ugyanakkor 'másodállásban' tökéletes feleség és három gyermek odaadó édesanyja is volt. Péter matematikus, Margaréta orvos, Kerstin drámaíró lett. Éva mesélte, hogy kezdetben minden reggel szendvicseket is készített

Gyurinak mindaddig, amíg Gyuri svéd asszisztensnője ezt észre nem vette, és nagyon dühös lett Gyurira. Az 1970-es években Svédországban már nem létezett a Magyarországon még ma is természetes patriarchátus, hogy tudniillik a feleségnek ki kell szolgálnia férjét, akkor is, ha mindketten egyformán dolgoznak. Ezek után Gyuri nem mert svéd munkatársnői előtt otthon készített szendvicseket enni. Eközben Éva csecsemő fiát hátára kötözve járt be a laboratóriumba dolgozni. Doktori disszertációját akkor védte meg, amikor második gyermekével nyolc hónapos terhes volt. Mindezek mellett magyar költőket fordított svédre. Szemben Gyurival, Éva nagyon nehezen szokta meg Svédországot. Mesélte, hogy 15 évig várta a tavaszt. Svédországban ugyanis nincs tavasz. Évától nem csak tudományt tanultam. Mielőtt vele találkoztam, nekem természetes volt, hogy egy gyerek legyen hálás a szüleinek. Éva szerint viszont az a természetes, ha a szülő elsősorban a gyerekeinek adja vissza a szüleitől kapott szeretetet.

A Karolinska Tumorsejtbiológiai Intézete Gyuri és Éva eredményeivel a világsztárak közé emelkedett

A Tumorsejtbiológiai Intézet az 1970-es évekre a világ egyik legjobb daganatkutató intézete lett. Svédország rákkutatásban betöltött kiemelkedő helyét nagyrészt Éva és Gyuri munkásságának köszönhetjük. A világ minden tájáról jöttek kutatók, köztük sokan az USA-ból, hogy a Tumorsejtbiológián dolgozhassanak. Ezért fontos hangsúlyozni, hogy az intézet talán legelismertebb kutatásait – így a mutációk és a vírusok hatásának kimutatását a daganatsejtek keletkezésében, vagy annak korszerű, molekuláris szintű igazolását, hogy az Epstein–Barr-vírus (Epstein–Barr-vírus, EBV) okozza a Burkitt-limfómát – Éva ötletei indukálták (Klein, G.–Klein, E. 1989). Ezek a projektek hozták világhírt az intézetnek.

Amikor a Tumorsejtbiológián dolgoztam, még minden vírus által indukált daganatot laboratóriumi műterméknek tartottak. Ezért nekem furcsa volt, hogy egy fiatal amerikai virológus sejtenyésztés közben mindig gumikesztyűt viselt. Megkérdeztem Gyurit, hogy miért. Elnéző mosollyal felelte, hogy Bill fél, mert azt hiszi, hogy a vírusok rákot okoznak. Ezzel szemben a kutatók túlnyomó többsége, beleértve Gyurit is, kizártnak tartotta, hogy létezik olyan *humán* daganat, amelyet vírus okoz. Ez olyan erős dogma volt, hogy a kutatók rendszeresen használtak egy rákkeltő majomvírust¹ saját sejteik daganatos transzformálására. Én is. Kollégám bőrmintát vett a karomból (a heg ma is látszik), amelyet majomvírussal fertőztem, és saját „ráksejtjeimet” műanyag edényben tenyésztettem a kísérleteimhez, gumikesztyű nélkül. Ma már nem biztos, hogy ezt meg merném ismételni, ugyanis általánosan elfogadott, többek közt Gyuri és Éva úttörő kutatásai alapján, hogy a humán daganatok körülbelül 15%-át vírusok okozzák.

¹ A poliómavírus (SV40) ismert onkogén DNS-vírus, amely elsődleges agy- és csontvelőrákot, rosszindulatú mesotheliomát és limfómákat idéz elő laboratóriumi állatokban.

A tumorimmunológia első kudarca a transzplantációs törvények felfedezésére vezetett

A 20. század első felében a nem beltenyésztett állatokkal végzett tumorimmunológiai kísérletek nagy „sikerrel” jártak, mert az átültetett tumorokat rendre kilökte a gazdaszervezet. Úgy tűnt, sikerült bizonyítani, hogy az immunrendszer nemcsak a mikrobákkal, de a tumorokkal szemben is képes védekezni. Hamarosan kiderült azonban, hogy ha a donor és a befogadó állat nem ugyanannak a beltenyésztett törzsnek a tagjai, akkor a befogadó állat az átültetett normális szöveteket (például a bőrt) is kilöki. Ezek a kísérletek tárták fel a transzplantációs kilöködési reakció törvényeit. Így a tumorantigének helyett a hisztokompatibilitási antigéneket (major histocompatibility complex, MHC) fedezték fel. Ezzel az áttöréssel kezdődött el a transzplantációs immunológia, miközben a tumorantigének kutatását előről kellett kezdeni.

Világossá vált, hogy az immunrendszer képes az *idegen* (más állatból származó, nem saját) szöveteket felismerni és kilökní. Az MHC-antigéneket a 20. század közepén, George D. Snell, Jean Dausset és Baruj Benacerraf fedezte fel, amiért mind a hárman Nobel-díjat kaptak. Az MHC-antigének azonosítása adott magyarázatot arra, hogy az immunrendszer miként képes különbséget tenni saját és idegen (nem-saját) sejtek között. A nem beltenyésztett állatok egyedei ugyanis eltérő MHC-antigénekkal rendelkeznek. Az egyik állat az MHC-antigén-különbségek alapján ismeri fel a másik állatból átültetett normál szöveteket és daganatokat, és kilöki (elpusztítja) azokat. Ezért a tumorimmunológia-kutatásokat azonos MHC-antigéneket hordozó beltenyésztett állatokban lényegében újra kellett kezdeni.

Gyuri és Éva bizonyította be elsőként, hogy beltenyésztett állatokban kémiai karcinogénnel indukált daganatokkal szemben akkor is lehet immunizálni, ha az eltávolított daganatot ugyanabba az állatba oltották vissza, mint amelyikben az keletkezett. Nagyon fontos további megfigyelésük volt, hogy minden kémiaileg indukált tumor csak saját maga ellen képes immunitást indukálni. Annak ellenére, hogy több mint 20 kémiai karcinogénnel indukált egyedi tumort vizsgáltak meg, nem találtak keresztreakciót, amikor is az egyik tumor elleni immunreakció egy másik tumorra szemben is működik (Klein, G.–Klein, E. 1989). Az intenzív kutatások ellenére a kémiaileg indukált tumorspecifikus transzplantációs antigének molekuláris biológiája több mint 50 éven át rejtély maradt. Úgy tűnik, hogy az immunellenőrző pontok gátlásán alapuló kezelések (immune checkpoint inhibitor, ICI-terápiák) széles körű autoimmun mellékhatásai segíthetnek a tumorimmunológia enigmáját megoldani, amire még visszatérnek.

Gyuri és Éva kutatásai alapvetően továbbléptek az Epstein–Barr-vírus (EBV) szerepének megértésében az afrikai Burkitt-límfóma kialakulásában

Miután kiderült, hogy a poliómavírus nagy számban képes daganatokat indukálni egerekben, megdőlt a dogma, hogy a vírussal indukált daganatok laboratóriumi műtermékek. Gyuri és Éva mutatták ki, hogy szemben a kémiai karcinogénekkal, a

vírusok által indukált új antigének minden állatban azonosak, és jellemzők az indukáló vírusra. A vírusok ugyanis saját fehérjéiket a gazdasejtekkel szintetizáltatják, amelyek idegen fehérjék (vírus antigének) formájában jelennek meg a sejtek felszínén. Egy adott vírus minden állatban ugyanazt az antigént kódolja, szemben a kémiai karcinogénnel, amelyek állatonként különböző antigéneket indukálnak. Az idegen vírusfehérjéket az immunrendszer felismeri és meg is jegyzi. Így az egyes vírusokra jellemző tumorspecifikus immunitás alakul ki. Gyuri és Éva azt is kimutatták, hogy a vírussal indukált tumorokkal szembeni immunitás csak immunsejtekkel vihető át egyik állatról a másikra, vírussal viszont nem. Ők dolgozták ki a poliómaspecifikus transzplantációs antigén koncepcióját, amely szerint minden poliómavírus által kiváltott daganat azonos vírusspecifikus antigéneket hordoz. Ők bizonyították azt is, hogy a vírusspecifikus antigének más vírus által kiváltott daganatokon is megtalálhatók (Klein, G.–Klein, E. 1989).

Az 1960-as évek közepén Éva javasolta, hogy a vírus által indukált egerleukémiákkal szerzett tapasztalatokat használják fel egy humán limfóma vizsgálatára, amelyet feltételezhetően vírus okoz. Az Afrika trópusi éghajlati övezetében halmozottan előforduló Burkitt-limfóma (BL) jó választásnak bizonyult, és a rákkeltővírus-kutatás egyik modelljévé vált.

A BL egy ritka, gyorsan növekvő rák. Jellemzően gyermekeket és ritkábban fiatal felnőtteket érint. A BL tünetei hirtelen jelentkeznek, és gyorsan rosszabbodnak. Intenzív kemoterápia hatására a BL az esetek túlnyomó többségében hosszú távú remisszióba megy át. Mivel a tervezett BL-kutatásokhoz daganatszövetre és a beteg szérumára volt szükség, Gyuri rengeteg levelet írt afrikai kórházak és nemzetközi szervezetek vezetőinek (ebben az időben még nem volt e-mail!). Áradtak az udvarias válaszlevelek tele ígéretekkel, de szövetet és szérumot senki sem küldött. Egyszer csak váratlanul levél helyett egy daganatos minta érkezett a stockholmi repülőtérre. A mintát Peter Clifford, a nairobi Kenyatta Nemzeti Kórház fej-nyak sebésze küldte egy rövid üzenettel, „I have no time for letters” (Nincs időm levelezni) (Klein, G.–Klein, E. 1989).

Ezt követően minden héten kedd délután hűtött dobozokban repülővel érkeztek a BL szövet- és szérumminták Nairobiból Stockholmba. Clifford saját kézzel írt hosszú listákat is mellékel a mintákhoz, amelyekben minden szükséges információt megadott, és a munkához jó szerencsét kívánt. Gyuri és Éva több mint tíz évig dolgoztak együtt Clifford doktorral, 45 közös publikációt írtak (eleinte úgy, hogy személyesen még nem is találkoztak). A BL-program a Tumorbiológia munkarendjét is megváltoztatta. Minden kedden „Burkitt éjszaka” volt az intézetben. Akik a BL-programban dolgoztak, kedden késő délután kezdték a napot, és egész éjszaka dolgoztak a tumorokkal, hogy azokból élő sejtszuspenziót készítsenek. Az így izolált tumorsejteket a páciens szérumával vizsgálták. A teszteket azonnal le kellett olvasni, hogy támpontokat nyerjenek a további munkához. Stockholmi kollégáim közül sokan vettek részt a BL-programban, akiket nem volt nehéz motiválni, hogy minden kedden éjszaka dolgozzanak.

A tumorimmunológia tévedése

Az a felfedezés, hogy tudniillik a *vírusok* által indukált tumorok vírusspecifikus új antigéneket hordoznak, elválaszthatatlanul összeforrott Gyuri és Éva nevével, és tudományos közkinccsé vált. Ezzel szemben az a megállapításuk, hogy minden *kémiai* karcinogénnel indukált tumor csak saját maga ellen képes immunreakciót indukálni, észrevétlen maradt. A kutatók továbbra is a vírusos betegségek elleni védőoltásokkal indukált immunitást utánozva próbáltak immunválaszt indukálni a humán daganatok ellen.

Ezzel a stratégiával az a probléma, hogy a humán daganatok csak egy kis részét (kb. 15%-át) okozzák vírusok, nagy többségüket viszont kémiai, illetve fizikai karcinogének indukálják. Ezek közé tartozik a dohányzás, az alkohol, az egészségtelen étkezés, a környezeti szennyezés, illetve az ionizáló és ultraibolya sugárzás. Szemben a vírusokkal, a kémiai vagy fizikai karcinogének egyedi *károsodásokat* (mutációkat) okoznak a genetikai kódban (a kromoszómákban). A mutációk által kódolt új fehérjék sokszor csak egyetlen aminosav-szubsztitúcióban különböznek a normális fehérjétől. A daganaton belüli genetikai változásokból származó mutációk teljes számát a tumormutációs teher (tumor mutation burden, TMB) paraméterrel jellemzik. Nagyobb TMB több új antigén kódolásához vezet. Mivel az új antigének immunválaszt váltanak ki, vonzó célpontokká váltak a rák immunterápiájában.

Daganatos betegek immunizálásához először betegenként kell azonosítani a rákos sejtekhez kapcsolódó új antigéneket, amelyeket egyedi vakcinák létrehozására használnak fel. Minden beteg immunrendszerét egyedileg kell megtanítani saját rákos sejteik felismerésére és elpusztítására. A mai napig folyamatos erőfeszítések folynak ilyen személyre szabott rákvakcinák kifejlesztésére, amelyeket a beteg daganatában jelen lévő egyedi mutációkra szabnak (Tang et al. 2024).

Fontos itt megjegyezni, hogy a tumorokkal szemben indukálható immunitás sokkal gyengébb, mint az átültetett idegen szervekkel szemben fellépő transzplantációs kilökődési reakció. Ezt az 1960-as években Éva és Gyuri mutatták ki elsőként. Mivel a rákvakcinák hatékonysága nem kielégítő, még ma is csak kísérleti stádiumban vannak.

Éva és Gyuri kémiai karcinogénekkal kapcsolatos alapvető felfedezése, hogy azok egyedi antigéneket indukálnak, sajnos hosszú ideig nem épült be a tudományos köztudatba. Így több mint fél évszázadon át a védőoltásokat utánozva próbáltak a daganatos betegekben immunitást indukálni. Ezek a kísérletek azonban csak anekdotikus sikereket értek el (Allison 2015). A daganatos immunterápia kudarcának lehetséges okait „A tumorimmunológia tévedése” című cikkünkben részletesen elemeztük (Bakacs et al. 2016). Mivel a rák immunterápiája az évtizedeken át tartó próbálkozás ellenére sem váltotta be a nagy reményeket, kezdte elveszíteni hitelességét, amikor 2010-ben váratlan fordulat következett.

A tumorimmunológia forradalma

A Bristol Myers Squibb (BMS) gyógyszergyár által támogatott kutatók elmélete szerint a daganatos betegek gyenge immunválaszát fel lehetne erősíteni, ha a tumort támadó T-sejteken az immunreakciók gátlásáért felelős receptorokat leblokkolják. Ezek a T-sejt receptorok (például CTLA-4, PD-1) úgy működnek, mint az autókban a fékek. Azt feltételezték ugyanis, hogy egy daganatos betegben csak a tumort támadó T-sejtek aktívak, így a fékek kikapcsolása csak a tumor pusztítását növeli, miközben az egészséges szövetekben nem keletkezik kár (collateral damage). A T-sejt fékek blokkolása forradalmasította a tumorimmunológiát (Allison 2015). Hodi és munkatársai olyan előrehaladott (áttétes) melanómás betegeket is meg tudtak gyógyítani, akik már minden hagyományos kezelést kimerítettek (Hodi et al. 2010). Az immunellenőrző pontok gátlásán alapuló (ICI) terápia felfedezéséért a 2018-as fiziológiai és orvosi Nobel-díjat James P. Allison és Tasuku Honjo kutatóknak közösen ítéltek oda.

A tumorimmunológiai forradalom Achilles-sarka

Időközben az ICI-gyógyszerek átütő sikere miatt alkalmazásuk exponenciálisan nőtt. Ma az Egyesült Államokban a rákos betegek közel fele jogosult ICI-terápiára (Haslam–Gill–Prasad 2020). Világszerte már több mint egymillió rákos beteget kezeltek ICI-gyógyszerekkel. A kényelmetlen igazság viszont az, hogy az ICI-gyógyszerek sikereiért nagy árat kellett fizetni. Ugyanis a betegek csak kis hányadánál (10–15%-ában) sikerült javulást vagy gyógyulást elérni, miközben a betegek túlnyomó többsége az immunrendszer által okozott *autoimmun* mellékhatásoktól szenvedett. A kutatók eredeti feltételezésével szemben ugyanis a T-sejtek nemcsak a tumort, de az egészséges szöveteket is megtámadták.

Az ICI-kezelés akkor a leghatékonyabb, ha a T-sejtek fékeit gátló gyógyszereket kombinálják. Ilyenkor viszont a mellékhatások olyan súlyosak, hogy a terápiát sokszor meg kell szakítani (Hang et al. 2019). Az Amerikai Klinikai Onkológus Társaság (American Society of Clinical Oncology, ASCO) legújabb irányelvei szerint az autoimmun mellékhatások életveszélyes eseményekként jelenhetnek meg, amelyek azonnali terápiás döntést igényelnek (Schneider et al. 2021). Az autoimmun mellékhatások a rák immunterápia Achilles-sarkává váltak (June–Warshauer–Bluestone 2017). Erről a problémáról még a *The New York Times* is beszámolt.

Éva és Gyuri álma, hogy az immunrendszer stimulálásával hatékonyan kezeljék a rákos betegeket, akár a közeljövőben is beteljesülhet

Az autoimmun mellékhatások miatt, a szakértők konszenzusával szemben, egy paradigmaváltó elméleti szempont mellett érveltünk (Bakacs et al. 2019). A feladat nem az, hogy a dzsinnt kétségbeesetten visszatuszkoljuk a palackba, hanem az, hogy a szolgálatunkba állítsuk. Véleményünk szerint ugyanis alacsony dózisú ICI-gyógyszerekkel

ugyanazt az immunterápiás célt lehetne elérni, mint egy idegen csontvelő átültetésével, miközben a súlyos autoimmun mellékhatások elkerülhetők.

Elméletünk alapján néhai kollégám, Ralf Kleef német onkológus professzor dolgozott ki egy ultraalacsony dózisú ICI-protokollt, amely a regisztrált protokolloknál biztonságosabbnak bizonyult, miközben nem veszélyeztette a terápia hatékonyságát. Az ultraalacsony ICI-protokollt időközben már 131 IV. stádiumú daganatos betegen tesztelték, akik 23-féle rákban szenvedtek, és akik az összes hagyományos kezelést már kimerítették (Kleef et al. 2021). Az ultraalacsony ICI-protokoll segítségével a felszabadított autoimmun reakció hatalmas erejét biztonságosan lehetett a betegek javára kihasználni. Az autoimmun T-sejtek ugyanis elsősorban a rákot támadták és csak minimális mértékben az egészséges szöveteket.

A *The New England Journal of Medicine* (NEJM) nemrég egy kulcsfontosságú cikket publikált, amely a tumorimmunológia jövőjét illetően bizakodásra ad okot (Wolchok et al. 2024). Regisztrált dózisú nivolumab plusz ipilimumab kezeléssel 62%-os tízéves túlélést értek el előrehaladott melanómás betegekben. Ez azt jelenti, hogy ma már az áttétes melanómát is gyógyító szándékkal lehet kezelni. A probléma viszont továbbra is az, hogy a betegek 62,6%-ában nagyon súlyos autoimmun mellékhatások jelentkeztek. Véleményünk szerint az ultraalacsony dózisú (de még nem regisztrált) Kleef-protokoll jelentősen csökkentené az autoimmun mellékhatásokat, miközben a kezelés hatékonyságát nem kockáztatná.

Már az Amerikai Klinikai Onkológus Társaság (ASCO) is támogatja az ultraalacsony dózisok alkalmazását (Mitchell–Goldstein 2023). Utóbbiak az Egyesült Államokban és Európában jóváhagyott ICI-dózisoknak töredékei. Fontos szempont az is, hogy az ultraalacsony ICI-dózisok, miközben javítják a kezelés biztonságosságát és eredményességét, drámai módon csökkentik a terápia költségeit is. Így az alacsony és közepes jövedelmű országokban is növelik a hozzáférést az ICI-gyógyszerekhez.

Irodalomjegyzék

- Allison, James P. (2015). „Immune Checkpoint Blockade in Cancer Therapy: The 2015 Lasker–DeBakey Clinical Medical Research Award”. *Journal of the American Medical Association*, 314/11, 1113–1114. <https://doi.org/doi:10.1001/jama.2015.11929>.
- Bakacs, Tibor – Gergely, Peter – Klein, Eva (1977). „Characterization of Cytotoxic Human Lymphocyte Subpopulations: The Role of Fc-Receptor-Carrying Cells”. *Cellular Immunology*, 32/2, 317–328. [https://doi.org/10.1016/0008-8749\(77\)90208-8](https://doi.org/10.1016/0008-8749(77)90208-8).
- Bakacs, Tibor et al. (2016). „The Fallacy of Tumor Immunology”. *Arxiv.org*, <https://arxiv.org/pdf/1601.02404>.
- Bakacs, Tibor et al. (2019). „Exploiting Autoimmunity Unleashed by Low-Dose Immune Checkpoint Blockade to Treat Advanced Cancer”. *Scandinavian Journal of Immunology*, e12821. <https://doi.org/10.1111/sji.12821>.
- Hang, Xu et al. (2019). „Antitumor Activity and Treatment-Related Toxicity Associated with Nivolumab Plus Ipilimumab in Advanced Malignancies: A Systematic Review and Meta-Analysis”. *Frontiers in Pharmacology*, 10, 1300. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01300>.
- Haslam, Alyson – Gill, Jennifer – Prasad, Vinay (2020). „Improved Survival with Ipilimumab in Patients with Metastatic Melanoma: Estimation of the Percentage of US Patients with Cancer Who

- Are Eligible for Immune Checkpoint Inhibitor Drugs”. *Journal of the American Medical Association Network Open*, 3/3, e200423. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.0423>.
- Hodi, Stephen F. et al. (2010). „Improved Survival with Ipilimumab in Patients with Metastatic Melanoma”. *The New England Journal of Medicine*, 363/8, 711–723. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1003466>.
- June, Carl H. – Warshauer, Jeremy T. – Bluestone, Jeffrey A (2017). „Is Autoimmunity the Achilles’ Heel of Cancer Immunotherapy?” *Nature Medicine*, 23, 540–547. <https://doi.org/10.1038/nm.4321>.
- Kleef, Ralf et al. (2021). „Low-Dose Ipilimumab Plus Nivolumab Combined with IL-2 and Hyperthermia in Cancer Patients with Advanced Disease: Exploratory Findings of a Case Series of 131 Stage IV Cancers – A Retrospective Study of a Single Institution”. *Cancer Immunology and Immunotherapy*, 70, 1393–1403. <https://doi.org/10.1007/s00262-020-02751-0>.
- Klein, George – Klein, Eva (1989). „How One Thing has Led to Another”. *Annual Review of Immunology*, 7, 1–33. <https://doi.org/10.1146/annurev.iy.07.040189.000245>.
- Mitchell, Aaron P. – Goldstein, Daniel A (2023). „Cost Savings and Increased Access with Ultra-Low-Dose Immunotherapy”. *Journal of Clinical Oncology*, 41/2, 170–172. <https://doi.org/10.1200/JCO.22.01711>.
- Richtel, Matt (2016). „Immune System, Unleashed by Cancer Therapies, Can Attack Organs”. *The New York Times* (2016. dec. 3.). <https://www.nytimes.com/2016/12/03/health/immunotherapy-cancer.html>.
- Schneider, Bryan J. et al. (2021). „Management of Immune-Related Adverse Events in Patients Treated with Immune Checkpoint Inhibitor Therapy: ASCO Guideline Update”. *Journal of Clinical Oncology*, 39/36, 4073–4126. <https://doi.org/10.1200/JCO.21.01440>.
- Tang, Feng et al. (2024). „Personalized Nanovaccines for Treating Solid Cancer Metastases”. *Journal of Hematology & Oncology*, 17/1, 115. <https://doi.org/10.1186/s13045-024-01628-4>.
- Wolchok, Jedd D. et al. (2024). „Final, 10-Year Outcomes with Nivolumab Plus Ipilimumab in Advanced Melanoma”. *The New-England Medical Review and Journal*, 392/1, 11–22. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2407417>.

100 éve született Gergely János, a hazai immunológusiskola megteremtője

János Gergely, the Founder of the Hungarian School of Immunology, Was Born 100 Years Ago

Erdei Anna¹ – Falus András²

¹ egyetemi tanár, akadémikus, MTA Elnökség, Budapest
erdei.anna@titkarsag.mta.hu

² professor emeritus, akadémikus, Semmelweis Egyetem Genetikai, Sejt- és Immunbiológiai Intézet, Budapest
afalus@gmail.com

Összefoglalás

Gergely János, a „Tanár Úr” a legtöbb ma vezető szerepet betöltő magyar immunológus mentora, a hazai immunológia egyik legkiemelkedőbb alakja volt. Tudományos műhelye hamar világhírű lett, konferenciákat szervezett, ahova számos élvonalbeli nemzetközi kutatót hívott meg Magyarországra, lehetővé téve ezáltal a fiatal immunológusok számára kollaborációkat és külföldi tanulmányutakat. Gergely János empatikus és karizmatikus személyisége lényeglátó tudásával karöltve életén messze túlmutató jelentőséggel bír.

Abstract

János Gergely, known as “Mr Teacher”, mentored most of today’s leading Hungarian immunologists and was one of the most prominent figures in Hungarian immunology. He quickly made his scientific workshop world-famous by organizing conferences and inviting many top international researchers to Hungary, thus enabling young immunologists to collaborate and participate in study trips abroad. Gergely’s empathetic and charismatic personality, combined with his profound knowledge, has had an enduring impact.

Kulcsszavak: immunológia, kutatás, megújítás

Keywords: immunology, scientific research, renewal

Gergely János Karcagon született 1925. december 13-án. A Karcagi Református Nagykun Gimnáziumban érettségizett (1. ábra). A numerus clausus és a háborús események miatt azonban csak 1945-ben kezdhetette meg tanulmányait a Debreceni Orvostudományi Egyetemen, amit harmadéves korától a budapesti Orvostudományi Egyetemen folytatott.

Pályáját orvosként kezdte, de hamar kiderült, hogy a laboratóriumi munka és a kutatás vonzza igazán. A III. számú Belgyógyászati Klinikán Gömöri Pál professzor aspiránsaként kutatta a vesebetegségeket kísérő vérfehérjevesztést követő folyamatokat, ez volt kandidátusi értekezésének témája is. A laboratóriumban eltöltött évek



1. ábra. Gergely János – érettségi tablókép
Forrás: Erdei Anna tulajdona

döntőek voltak későbbi karrierje szempontjából, mivel a fehérvérűség egy olyan formájára terelték a figyelmét, melynek során a kórosan burjánzó plazmasejtek termékei, az immunglobulinok is nagy mennyiségben megjelennek. Ezekben az években jutott el a Tübingeni Egyetemre, ahol elsajátította a modern immunológiai módszereket, és tovább mélyült érdeklődése az immunfehérjék szerkezete és működése irányába. Itt ismerkedett meg az akkoriban áttörést jelentő új, biokémiai/immunológiai módszerekkel, melyeket hazahozva elindította itthon a modern immunológiai kutatásokat. 1963-tól Hollán Zsuzsa professzor meghívására az Országos Haematológiai és Vértranszfúziós Intézetben az általa létrehozott Immunokémiai Osztályon kiváló vegyész kollégájával, Medgyesi Györggyel az ellenanyagok szerkezetét vizsgálta.

Az 1960-as évek közepén, birminghami kutatómunkája eredményeként elsőként írta le a papainérzékeny és papainrezisztens immunglobulinokat, és megállapította azokat a szerkezeti sajátosságokat, amelyekkel ez a tulajdonság összefügg. Ebben az időben jelent meg Dévényi Tiborral közösen írt nagy sikerű könyvük *Aminosavak, peptidek, fehérjék* címmel, melyet angol és orosz nyelvre is lefordítottak (Dévényi-Gergely 1971). Az 1970-es évek második felétől, a celluláris immunológia megjelenésével az ellenanyag-molekula antigén-felismerő, N-terminálisától a végrehajtó funkciókat ellátó C-terminális felé irányult Gergely János érdeklődése, és az immunglobulinokat kötő Fc-receptorok jelátviteli folyamatainak vizsgálata került kutatásai középpontjába. Jelentős eredményeket ért el az ellenanyag-termelő B-sejteken megjelenő Fc-receptor szabályozó szerepének vizsgálata során.

Gergely János felbecsülhetetlen érdeme, hogy 1973-ban létrehozta az ország első, és közel 20 éven át egyetlen önálló Immunológiai Tanszékét az ELTE-n Ádám György,

az akkori rektor felkérésére. Felismerte, hogy szükség van az immunológia önálló diszciplínaként való elismerésére itthon is. Ő maga mindig hangsúlyozta, hogy már korábban is művelték itthon az immunológiát nemzetközileg elismert színvonalon. Egy interjúban így nyilatkozott:

„Magyarországon komoly hagyományai vannak e tudománynak. Az immunológia »első nagy korszakában«, az 1900-as évek első évtizedeiben, az immunológia óriásai között kiváló magyar kutatók voltak: Detre László, Fodor József, Freund Gyula, hogy csak néhány nevet említsek. A negyvenes-ötvenes években több immunológiai kutatással is foglalkozó intézmény volt hazánkban. Went István és Kesztyűs Loránd a debreceni egyetemen az Élettani, illetve Kórélettani Intézetben folytattak ilyen irányú kutatásokat, Bakhausz Richárd pedig a Humán-gyárban, hogy csak néhány kiemelkedő nevet említsek.” (Kapitány 2000, 540–541)

Vitathatatlan tény, hogy Gergely János érdeme a korszerű immunológia rendszeres oktatásának bevezetése, és a modern immunológiai kutatások feltételének megteremtése itthon. Az ő nevéhez fűződik az első modern szemléletű immunológiai tankönyv megírása (1979-ben jelent meg), amelyet később újabbak követtek (Gergely 1979).

Tanár Úrnak neveztük, mert a szó legteljesebb értelmében a tanárunk volt. Magával ragadó személyisége, egy új világot feltáró, kiváló előadásai, a tudomány iránti szeretete sokunkat vonzott az immunológia területére az 1970-es és 1980-as években. Elkötelezettségét mutatja, hogy több évig német nyelven tanított immunológiát a Semmelweis Egyetemen is.

Az általa alapított tanszék az első 28 évben (1973-tól 2001-ig) az ELTE Alsógödi Biológiai Állomásán, Huzella Tivadar orvosprofesszor volt nyaralójának idilli környezetében működött. A tanszék létrejöttétől kezdettől nagyon fontosnak tartotta, hogy kutatásainkkal minél korábban bekapcsolódjunk a nemzetközi vérkeringésbe. Ennek érdekében számos nemzetközi konferenciát szervezett itthon; többek között két nagy sikerű FEBS-tanfolyamot (Federation of European Biochemical Societies) a gödi tanszéken, Európai Immunológiai Kongresszust és Immunológiai Világkongresszust Budapesten, valamint elindította a nemzetközileg is számontartott „Signals and Signal Processing in the Immune System” konferenciasorozatot. Széles körű kapcsolatai révén neves külföldi kutatókat hívott meg, akik örömmel jöttek Magyarországra. Sokukkal szorosabb baráti és szakmai kapcsolat alakult ki, melyek eredményeként sokrétű közös kutatómunkát végeztünk. Számos, pályáját akkoriban kezdő kutató e kapcsolatok révén jutott el először Nyugat-Európába és az Egyesült Államokba, kiváló laboratóriumokba.

A kutatás, az oktatás és az ismeretterjesztés mellett Gergely professzor a tudományos közéletben is aktívan részt vett: a Magyar Immunológiai Társaság elnöke volt 1978–1986 között, 1990-től 1996-ig a Magyar Tudományos Akadémia Biológiai Tudományok Osztályának elnöke, majd ezután tíz éven át az MTA Elnökségének tag-

ja volt. Fontos nemzetközi siker volt, hogy a European Federation of Immunological Societies (EFIS) elnökévé választották az 1980–1983 közötti időszakra, és mindmáig ő az egyetlen kelet-európai immunológus, aki betölthette ezt a tisztséget. Sosem ő kereste ezeket a vezető pozíciókat, mindig a feladatok találtak rá. Sokan tapasztalhattuk, hogy rendelkezett a jó vezető erényeivel; bölcsességgel, jószándékkal, emberséggel, ami nagy munkabírással és határozottsággal párosult.

Gergely Jánosnak kulcsszerepe volt az Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának létrehozásában, és 1998-tól 2007-ig volt elnöke a kuratóriumnak. 73 évesen is tele energiával, különféle testületek és szervezetek vezetésében megszerzett gyakorlatával felvértezve olyan sikeresen építette fel a pályázati rendszert, hogy a Bolyai-ösztöndíj – kisebb módosításokkal – azóta is az Akadémia egyik legnagyobb presztízsű támogatási rendszere.

Ahogy tanított, és miközben együtt dolgozhattunk évtizedeken át, sok mindent megtanulhattunk Gergely Jánostól: emberséget, tisztességet, a tudomány iránti alázatot és azt is, hogy milyen fontos mások – köztük az elődök – munkájának az elismerése. Azon kevesek közé tartozik, akik iskolát teremtettek, és az általa kialakított egyetemi műhely kisugárzása máig érzékelhető. Hatására nemcsak a közvetlen tanítványok és munkatársak gondolkodásmódja, a tudományról és az életéről való fel fogása formálódott jelentősen, hanem azoké is, akik távolabbi vonzáskörébe kerültek. Az ELTE-n 1966–1967-ben tartotta az első Immunológiai speciális kollégiumot. Fantasztikusan színes, lenyűgöző előadásai mágnesként vonzották sokunkat, és hatására egy életre beleszerettünk az immunológiai kutatásba.

Megnyugtató érzés volt sokunk számára, hogy mindig jelen volt, amikor tanácsra vagy akár csupán egy vele való beszélgetésre volt szükségünk. Szinte bármiről lehetett vele beszélgetni, műveltsége, naprakész tájékozottsága legendás volt. Az általa gyakran idézett madáchi sor: „Nem adhatok mást, csak mi lényegem” (Madách 2005, 25) nála mindennek a derűs kisugárzását jelentette, ami állandóan érezhető volt körülötte. Bölcsessége, sokszor konfliktusokat is könnyen oldó humora, az utolsó pillanatig meglévő életszeretete pótolhatatlanul hiányzik sokunknak. Derűs egyéniségét jól tükrözi a Szabó Gábor szobrászművész által alkotott, bronzból készült mellszobra, mellyel nap mint nap találkozhatnak a hallgatók az ELTE Lágymányosi campusa déli épületének aulájában (2. ábra).

Gergely János számos rangos hazai és nemzetközi kitüntetésben részesült. 1982-ben a Magyar Tudományos Akadémia levelező, majd 1990-ben rendes tagja lett, 1992-ben Széchenyi-díjat kapott, és 2005-ben az Eötvös Loránd Tudományegyetem, 2007-ben pedig a Debreceni Egyetem avatta díszdoktorává.

Emlékét őrizzük és ápoljuk oly módon is, hogy a Magyar Immunológiai Társaság és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Immunológiai Tanszéke részvételével létrehoztuk a Gergely János Emlékérem és Ösztöndíjat, amelyet kiemelkedő tudományos teljesítményt elérő fiatal immunológusok nyerhetnek el.

Ahogy ő maga mondta, az immunológia volt az élete. Kiemelkedő tudós, tanár és nagyszerű ember volt, akinek szakmai tisztánlátása és embersége fájóan hiányzik



2. ábra. Gergely János szobrának avatása az ELTE I/C épületének aulájában – 2010.

A szobrot Szabó Gábor készítette

Forrás: Erdei Anna felvétele

sokunknak. Gergely János igazi ikon volt és marad számunkra, a mindenki felé irányuló emberség, a finom szellemesség és az igényes tudomány iránti megfellebezhetetlen alázat példaképe. Emberségét mutatja, hogy évtizedeken át támogatta, segítette egykori idős karcagi tanítóját annak élete végéig, aki a 2004-ben kémiai Nobel-díjat kapott Avram Hersko (Herskó Ferenc) izraeli-magyar tudós édesapja volt.

Az évek, évtizedek során számos neves kutató méltatta Gergely János kiemelkedő szerepét a hazai és a nemzetközi immunológia eredményességében. Ezek közül álljon itt a vele egyidős, emberként és tudósként szintén kivételes pályatárs, Klein György (George Klein) köszöntője, amelyet Gergely János 80. születésnapjára írt eredetileg angolul, és itt saját fordításunkban teszünk közzé (3. ábra):

„Miért más az immunológia, mint a többi terület Magyarországon? Mert Gergely Jánostól szívárgott le, vagy inkább laterálisan terjedt szét. Miért más ő? Gyanítom, hogy ez az értékrendszeréből fakad. A tudomány tartalma fontosabb – és sokkal izgalmasabb! – számára, mint az akadémiai struktúra. Paradoxonnak tűnhet, hogy ugyanakkor nagyon jól, méltósággal és hatékonysággal tartja fenn és használja az akadémiai keretrendszert. Úgy tűnik, hogy kifogástalan természetes ösztön vezeti, amelyet tapasztalatai is megerősítenek, és amely arra világít rá, hogy a tudományos kreativitásnak kell a középpontban állnia, ez azonban csak akkor bontakozhat ki, ha működőképes keretrendszer övezi. Azt is tudja, hogy a magot, a tudomány izalmát gondosan meg kell védeni az adminisztratív struktúra és ikertestvérei, a presztízs és a hatalomorientált gondolkodás túlburjánzásától és az azt követő inváziójától.



3. ábra. Gergely János 80. születésnapján
Forrás: Erdei Anna felvétele

Íme tehát az egyik fő oka annak, amiért Gergely János idilli gödi laboratóriuma annyira különbözött a kortárs akadémiai intézményektől. De van még legalább egy, ugyanilyen fontos tényező: Gergely János mély embersége, a tudomány és az emberek iránti szeretete nélkül semmi sem működött volna. Törődik másokkal, és tudja, mi szükséges a szakmai kibontakozásukhoz. Végül, de nem utolsósorban, kiváló humorérzéke nagyon fontos kiegészítő tényező.” (Klein 2005 [George Klein Gergely János 80. születésnapjára írt köszöntője])

Gergely János elismerései, kitüntetései

Az MTA levelező tagjának választották 1982-ben, 1990-től az MTA rendes tagja. Az MTA Biológiai Tudományok Osztálya osztályelnöke 1990–1996 között, majd az MTA Vezetői Kollégium tagja 1996-tól. 1998–2006 között az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Kuratóriuma elnöke.

Tagja volt az Immunológiai Társaságok Nemzetközi Szövetsége Tanácsának (IUIS), a WHO Immunológiai Szakértői Bizottságának, a Brit Immunológiai Társaságnak (British Society for Immunology, BSI), a Jan Evangelista Purkyně Cseh Orvosi Társaságnak, a német Klinikai és Kísérleti Immunológiai Társaságnak (Deutsche Gesellschaft für Immunologie, DGfI) (4. ábra).



4. ábra. Gergely János – az IUIS kongresszus elnöke (1992)
Forrás: Erdei Anna felvétele

1993-ban lett az Európai Akadémia tagja. 1994–1995 között a Magyar–Amerikai Csereprogram Bizottság elnökeként dolgozott.

1961-től a *Természet Világa* szerkesztőbizottságának tagja, 1998-tól elnöke. 2000-től a Tudományos Ismeretterjesztő Társulat (TIT) alelnöke.

Tudományos publikációinak száma több mint 300. Számos neves nemzetközi szakfolyóirat szerkesztőbizottságának is tagja volt.

Munkássága elismeréseként 1975-ben Akadémiai Díjat, 1992-ben Széchenyi-díjat, 1993-ban és 1996-ban ELTE-aranyérmet vehetett át. 2005-ben Semmelweis Ignác Emlékérem és Jutalomdíjban részesült. 2005-ben az ELTE, 2007-ben a Debreceni Egyetem díszdoktora lett. 2004-ben Karcag város díszpolgárává választották.

Irodalomjegyzék

- Dévényi Tibor – Gergely János (1971). *Aminosavak, peptidek, fehérjék*. Budapest: Medicina Könyvkiadó.
- Gergely János (1979). *Immunbiológia*. Budapest: Medicina Könyvkiadó.
- Kapitány Katalin (2000). „Kölcsönhatások nélkül nincs tudomány. Beszélgetés Gergely János akadémikussal”. *Természet Világa*, 131/12, 540–544.
- Klein, George (2005). *George Klein Gergely János 80. születésnapjára írt köszöntője*. Kézirat, Erdei Anna tulajdona.
- Madách Imre (2005). *Az ember tragédiája. Drámai költemény*. Szinoptikus kritikai kiadás. Sajtó alá rendezte és a jegyzeteket írta Kerényi Ferenc. Budapest: Argumentum.

Szabados László képeslapgyűjteményéből



Tihany

A Magyar Biológiai Kutató Intézet a kolostortól

A Magyar Biológiai Kutatóintézetet 1926-ban Klebelsberg Kunó vallás- és közoktatásügyi miniszter alapította Tihanyban. A kezdetben az Országos Magyar Gyűjteménygyűjtemény szervezetéhez tartozó intézet szoros kapcsolatban állt a Nemzeti Múzeummal, majd 1952-ben átkerült az MTA-hoz, 2012-ig önálló tudományos kutatóintézetként, utána az Ökológiai Kutatóintézet tagintézeteként. 2012–2021 között Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézet néven, az ökológiai központ székhelyeként, egyben részeként működött. Az intézet, illetve az Ökológiai Kutatóközpont, az MTA intézethálózatának többi tagjához hasonlóan, 2019. augusztus 1-től átkerült az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat irányítása alá. 2021. április 1-től a Balatoni Limnológiai Kutatóintézet ismét önálló jogi személyként működik az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat, 2023 szeptemberétől a HUN-REN Magyar Kutatási Hálózat tagjaként.

A képeslap kiadója: Turistaság és Alpinizmus, Budapest, 1930

Forrás: a szöveg forrása: <https://www.blki.hun-ren.hu/rolunk>;

a kép forrása: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/16335/>

A TIHANYI VISSZHANG				
Rege — Irla GARAY JÁNOS				
A régi szép időkben Egy szép királyleány Aranyszőrt kecskéket Őrzött Tihany fokán. Sok kincsel ért fel a nyáj, Mely a hegyen legel, Még többel a leánya Szépsége ekivel. Szemének, éj-hajának, Arcának párja nincs; Csak rózsabimbó ajkán Van néma, bús bilincs. »Adj, szép leány, nyájadból Egy csésze friss tejet, Beteg fiam számára, S megoldom nyelvemet.« Szólt Balaton tündére, Az őz hullámkirály: Ajkárol térdig érvén A főhéher szakáll.	Adott tejet fiának A szép királyleány, S a szót a víz királya Megoldta ajakán. S csengőbb lón szép [ezüstnél, A méznél édesebb A szép leány beszéde; Meggyógyult a beteg. De büszkeség kapá meg A lánykát s vad negéd, Hallván, mi szép, mi [bájos Most ajkán a beszéd. Mint pénzfukar [kincseivel Bánt nyelve bájjal; Nem zenge csak [magának E csattogányi dal.	Isten dicsőségére Meg nem nyitotta azt, Szegénynek panaszára Nem zenge lágy vigaszt. Testvérnek és barátak Írtyen zárta be, Az eső szerelemnek Nem nyílt meg kőszíve. Amily hamar megnyerte Sok ifjúnak szívét; A rózsaláncot göge Oly rögtön tépte szét. Csak egyet vitt sirjába A mélyebb érezt: Fiát a tókirálynak, Ki érte elepedt.	Az aranyszőrt nyájának Tejből itt szegény, Bűvös varázsszerelmet, Mely méreg lett szívéen. A tónak őz királya Haragra gyűlt ezért, A bérctől a leányra S a nyájra átkot kért. A bérct tüzet bocsátott, Sziklája mind kigyúlt; Három nap, három éj, [mint Ítélet napja dült. A nyáj a Balatonba Rohant, de benn- vesztett — A tó máig kihányja A kecskékörmeiket.	A lányt pedig örökre Bűbáj kötötte meg, Foglyául tartja máig Ki tudja mely üreg? Szemmel nem látja senki, Kézze nem fogható — De bárki megszólítja, Visszhangja hallható. Mert büntetésül mondta A tündér átka ki: Hogy nyelvvel lakoljon, Mellyel vétett neki. S ki csengő szép szavával Kevélyen visszaélt, Istennel és emberrel Negédből nem beszélt: Most — bárki szóljon hozzá Bár gazdag és szegény: Felelni köteles rá E bércek tetején.

A tihanyi hajózikötő várócsarnokának freskói (zsolnai Plosske Aladár munkái).

A képek alatti vers szerzője Garay János (1812–1853), az MTA levelező tagja (1839).

(A képeslap kiadója: Turistaság és Alpinizmus, Budapest, 1931)

Forrás: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/16639/>

KÜLHONI BIZOTTSÁGOK

A Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács – retrospektív fényben *A VMAT története és a vajdasági magyar tudományosság*

The Hungarian Academic Council in Vojvodina: A Retrospective *The History of the VMAT and Hungarian Scholarship in Vojvodina*

Csányi Erzsébet

PhD, Újvidéki Egyetem Bölcsészettudományi Kar Magyar Nyelv és Irodalom Tanszék, Újvidék
erzsebet.csanyi@gmail.com

Összefoglalás

Tanulmányomban a Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács történetét foglalom össze. A bevezetőben a vajdasági magyar felsőoktatási és tudományos tevékenység rövid előtörténetét vázolom fel. Fontos, hogy a VMAT létrejötte előtt már megalakulhatott több civil szervezet, amelyek tudományos kutatásokkal foglalkoztak. A VMAT létrehozásának konkrét előzménye az MTA-döntés volt, ami a VMAT és az MTA közötti kötelékek megerősödését és a szervezettség egy magasabb szintjét képviselte. A tanulmány részletezi az akadémiai tanács által vezetett projekteket, és leírja a munkaformákat. Kitér a vajdasági magyar tudományos stratégiai tervekre, a kérdőíves felmérések eredményeire (2009, 2016–2018), a legfontosabb konferenciákra (2009–2025), és méltatja a kiadói tevékenység jelentőségét.

Abstract

In my study I summarize the history of the Hungarian Academic Council in Vojvodina (VMAT), Serbia. In the introduction, I provide an overview of the early history of Hungarian higher education and scientific activity in Vojvodina. Notably, several civil society organizations engaged in scientific research had already been founded before the VMAT was established. A concrete precursor to the VMAT's establishment was the Hungarian Academy of Sciences' (MTA) decision, which strengthened the ties between the VMAT and MTA and improved their level of organization. The study details the projects led by the Academic Council and describes its working arrangements. It covers strategic plans for Hungarian scientific work in Vojvodina and the results of the questionnaire surveys conducted in 2009 and between 2016 and 2018. It also describes the most important conferences held between 2009 and 2025 and acknowledges the significance of publishing activities.

Kulcsszavak: Vajdaság, magyar tudományosság, felsőoktatás, konferenciák, projektek

Keywords: Vojvodina, Hungarian science, higher education, conferences, projects

Bevezetés

A vajdasági magyar tudományosság fogalmának körülhatárolása a mai napig nem egyszerű feladat. Adott a kérdés, hogy az itt élő magyarok irodalma, tudományos és művészeti alkotótevékenysége milyen szinten és keretek közt valósul meg. Pontenciálisan mi is tartozhat a vajdasági magyar tudományosság körébe? Mit és kiket tekintetünk a vajdasági magyar tudományosság képviselőinek?

A magyar tudományosság körébe sorolás alapja három kritérium lehet: a mű magyar nyelvűsége, a szerző nemzeti hovatartozása, illetve a mű magyar tárgyú mivolta. Ezt a többféle kötődési lehetőséget tartja szem előtt a Magyar Tudományos Akadémia is, amikor bővíti külső köztestületi tagságát, valamint díjakat adományoz. Az MTA adatbázisa szerint a vajdasági tudósok 53%-a bölcsész- és társadalomtudományi profilú, 47%-a pedig az élő és élettelen természettudományok, műszaki tudományok diszciplináris területeihez tartozik.

A vajdasági magyar felsőoktatási és tudományos tevékenység rövid történeti beágyazása

Az I. világháború után a trianoni békediktátum 1920-ban rögzítette a történelmi Magyarország felosztását, így a Vajdaságot a Szerb–Horvát–Szlovén Királysághoz csatolták. A vajdasági magyarság (1918-ban kb. 420 000 fő) nyomasztó tájékozódási zavarba került, a centrumvesztés, a kisebbségi peremlét súlyos következményekkel járt.

A kisebbségi, nemzetiségi kulturális létmód új értelmezési és érvényesülési kihívásokat jelentett, a centrum–periféria-elmélet nem érvényesült, hiszen nemigen voltak magyar szellemi központok. Szabadka mindig is Szeged és Budapest felé gravitált, az új helyzetben át kellett szerveződnie. Újvidék urbánus központként viszont nem rendelkezett fokozott magyar kulturális vonzattal, ezt csak az 1950-es években, mesterségesen hozták létre a jugoszláv szocialista országépítők. Az elcsatolás után nehezen született meg egy új identitás.

A kérdések megfogalmazásában a publicisztika, az irodalom járt az élen. A magyar irodalmi kultúra vajdasági kulcsemberei (Szenteleky Kornél, Szirmai Károly, Herceg János) segítségével lassan elkezdtek formálódni a vajdasági magyar szellemi élet intézményei: elindult a *Híd* folyóirat (1934–1941, 1945–). A tartományi székvárosban már 1957-ben megalapították az újvidéki Forum Könyvkiadót, elsősorban azzal a céllal, hogy az akkori Jugoszláviában élő magyar szerzők könyvkiadója legyen. Az intézmény évtizedek alatt a vajdasági magyarság egyik legnagyobb és legjelentősebb kulturális intézményévé nőtte ki magát. Kiadói profilja felöleli a szépirodalmi, az értekező prózai, a publicisztikai, a néprajzi, a művelődéstörténeti, a képzőművészeti és a helytörténeti témájú műveket is. 1959-ben az újvidéki bölcsészkar keretében megalapították a Magyar Tanszéket, 1965-ben létrejött az *Új Symposion*, a fiatal neoavantgárd nemzedék folyóirata. A természettudományi szakok iránt érdeklődő magyar fiatalok akkoriban még Belgrádba kényszerültek egyetemre, tudományos karrierjük szerb akadémiai közegben bontakozott ki.

Az 1970-es években Újvidéken – igaz, a testvériség-egység feltételei között, de – már jól működtek a vajdasági magyar kultúra, média igényeit kielégítő állami intézmények. Nem szabad szem elől téveszteni azonban, hogy Jugoszlávia vezetőinek fő célja a nemzeti és kulturális határok áttörése, a testvériség-egység eszméjének érvényesítése, a nem nemzeti alapon szerveződő kultúrközösségek létrehozása volt.

Az 1970-es években folytatódott a felsőoktatási rendszer kiépítése. Az irodalom- és nyelvközpontú tájolóadás mellett megjelent a magyar nyelvű színészképzés is: 1974-ben indult a Művészeti Akadémia (ahol magyar színészosztály nyílik minden második évben, maximum tíz hallgató számára) szintén Újvidéken. A virágkort jelzi, hogy ugyanebben az évben alakult meg az Újvidéki Színház is, és az akadémia és a színház között szerves, együtt építkező kapcsolat alakult ki. Az akadémia ösztönzőleg hatott a színházelméleti kutatásokra, új felsőoktatási munkahelyek nyíltak, ezek együtt jártak a tudományos kutatások fejlesztésével. A konstruktív történelmi sodrás sajnos itt meg is akadt, a felsőoktatási lendület újabb magyar nyelvű képzéseket nem hozott, noha a Magyar Tanszék tanárai indítványozták a tanárképzési szakok megnyitását magyar nyelven a Természettudományi-Matematikai Karon.

Harmincéves szünet állt be Vajdaságban a magyar felsőoktatási szakok bővítésében. Erre az időszakra esik Jugoszlávia felbomlása (1989–2008), a szocializmus utáni többpártrendszer bevezetése, konfliktusok, háborúk. Az egyetemi építkezés 2006-ban folytatódott, ekkor sikerült megnyitni Szabadkán az Újvidéki Egyetem Magyar Tannyelvű Tanítóképző Karát (MTTK). Ennek óriási jelentősége van, hiszen ez az egyetlen jogalanyisággal és magyar adminisztrációval rendelkező magyar felsőoktatási intézményünk (óvó- és tanítóképzés, valamint 2016-tól kommunikátorképzés).

Meg kell említeni azt is, hogy 2005-ben megalapították Zentán a Vajdasági Magyar Művelődési Intézetet mint állami intézményt, amely fontos munkát végez a vajdasági magyar szellemi termékek digitalizálásában és általánosságban a kultúra területén. A felsőoktatási palettán jelentős még a Szabadkai Műszaki Szakfőiskola is, amely 1960 óta szerb és magyar nyelven is kínál többfajta BSc fokozatú mérnökképzést és egy szakon (információs technológia) mesterképzést. A Szakfőiskola nem az Újvidéki Egyetem része.

Összefoglalva a vajdasági magyar felsőoktatási szakkínálatot: magyartanárképzés, színészképzés, óvó- és tanítóképzés/kommunikátorképzés, mérnökképzés folyik magyar nyelven. Ezen állami intézményeken kívül hétvégi képzés keretében, magyarországi kihelyezett tagozatként működik Zentán a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Zentai Konzultációs Központja, ahol kertész-mérnöki diplomát lehet szerezni.

Mivel a tudományos kutatás az egyetemi tanárok tevékenységének kötelező eleme, ezért ezekben a fentebb felsorolt intézményekben lelhető fel a vajdasági magyar tudósállomány zöme is. Sajnos, a Kárpát-medencében Vajdaságban a legszűkösebb a felsőoktatási szakkínálat, és csupán egy jogalanyisággal rendelkező magyar vezetésű kar (MTTK) jött létre. Mindez negatív hatással van a vajdasági magyar tudományos életre.

Civil szervezeti környezet

A magyar nyelvű tudományosság helyzetében – a politikai rendszer átrendeződése miatt – 1990 után módosultak a lehetőségek. Az 1990-es években az anyaországi alapítványi támogatásoknak köszönhetően több magyar civil szervezet is létrejött Vajdaságban, s pályázati alapon lehetőségük nyílt tudományos kutatásokkal foglalkozni. Ekkor váltak rendszeressé a minden szakterületet megszólító magyar tudományos konferenciák. A nemzeti alapon való szerveződés, a magyar civil szervezetek felfutása a Jugoszláv Szocialista Szövetségi Köztársaság szétesésével, a jugoszláviai testvériség-egység eszméjének törlésével az 1992 utáni időszakban történt. Alapozó munkát végeztek, pótolták az állami kutatóhelyek hiányát: a Magyarságkutató Tudományos Társaság (Szabadka, 1991), a Vajdasági Magyar Tudományos Társaság (Újvidék, 1997), a Kiss Lajos Néprajzi Társaság (Kishegyes, 1997), valamint a Vajdasági Magyar Felsőoktatási Kollégium (Újvidék, 2001).

2008-ban, amikor a Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács (VMAT) megalakulására sor került, már jelentős civil tevékenykedés folyt, így az új szervezet azonnal a tudománnyal foglalkozó magyar egyesületek ernyőszervezeteként is szerepet kapott. A civil szervezetek azonban csak mintegy a felkészülési fázist jelentették, előkészítettek a terepet majdani állami intézmények létesítéséhez, amire azonban nem került sor.

A VMAT létrehozásának előzményei

A Magyar Tudományos Akadémia (MTA) már az 1980-as évek óta igyekszik egyre szorosabbra fűzni az együttműködést a tudomány Magyarország határain túl élő magyar művelőivel. E törekvés jegyében került sor 1990-ben a külföldi akadémiai tagság (tisztelési tagok és külső tagok) intézményének bevezetésére. Létrehozták az akadémia külső köztestületeit is. E folyamat szellemében az akadémia 2000 tavasza óta a magukat magyarnak (is) tartó, tudományos fokozattal rendelkező, a világ bármely pontján élő és dolgozó kutatóknak felajánlotta azt a lehetőséget, hogy saját kérésükre belépjenek az MTA külső köztestületébe. A köztestületi tag megjelölés címként nem használható. A köztestületi tag cím tehát nem akadémikusságot jelent, hanem az MTA holdudvarához való egyfajta lazább kötődést. A szerbiai köztestületi tagság fokozatosan több mint 200 tagot felölelő testületté bővült.

A MTA Magyar Tudományosság Külföldön Elnöki Bizottság 2007. évi kihelyezett ülése (Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar – MTTK, Szabadka 2007. június 29.) Szabadkán zajlott. Az ülés zárónyilatkozatába foglalták a következőket:

„A vajdasági magyar tudós elit fontosak tartja, hogy megfogalmazza a saját tudásalapú regionális fejlesztési elképzeléseit, a vajdasági magyar tudományos kutatás és felsőoktatás fejlesztésének középtávú programját; meghatározza a megvalósításhoz szükséges legfontosabb teendőket, prioritásokat, elkezdje

a hálózatépítést és körvonalazza a realizáláshoz szükséges forrásstruktúrát (szerbiai, magyarországi és uniós csatornák).” (Gábrity Molnár 2018)

Ennek alapján az MTA 2007-ben szavazást folytatott le a szerbiai köztestület körében azzal a céllal, hogy megalakuljon az MTA szerbiai regionális tudományos tanácsa. A szavazás tudományos szakterületek szerint zajlott, s azok, akik egy-egy tudományterület képviselői közül a legtöbb szavazatot nyerték el, felkérést kaptak a tanács megalkotására.

Az előkészületekhez tartozott a Szerb Tudományos és Művészeti Akadémia támogatásának az elnyerése is, amit Görömbei Andrásnak, az MTA MTK EB akkori elnökének a közbenjárása tett lehetővé. A Szerb Tudományos Akadémia üdvözölte a szervezet létrejöttét, a szerb–magyar tudományos kapcsolatok élénkítését várva tőle. Az egyesület megalakításának procedúrája az MTA vidéki akadémiai bizottságainak szabályzataira épült, azzal, hogy Vajdaságban nem területi bizottság létrehozásáról volt szó, de egy ahhoz hasonló funkciót ellátó szervezetről. (Az MTA-nak öt területi bizottsága van: az MTA Debreceni Területi Bizottsága [DAB], az MTA Miskolci Területi Bizottsága [MAB], az MTA Pécsi Területi Bizottsága [PAB], az MTA Szegedi Területi Bizottsága [SZAB], az MTA Veszprémi Területi Bizottsága [VEAB]. A területi bizottságok az Akadémia regionális tudományos céljainak megvalósításához hozzájárulók, az egyes régiók tudományos és közéletében kulcsszerepet játszó testületek.)

Az akadémiai szabályozás előírásait Vajdaságban csupán *mutatis mutandis* lehetett alkalmazni, ügyelve a helyi sajátosságokra és szükségletekre (például a testület elnöke itt természetesen nem kizárólag akadémikus lehet, nincs feltétlen szükség három alelnökre stb.). Az alakuló ülésen – az előzetes köztestületi szavazás értelmében – jelen volt Kastori Rudolf akadémikus, Hózsa Éva egyetemi tanár, Gábrity Molnár Irén egyetemi tanár, Csányi Erzsébet egyetemi tanár, Jeges Zoltán egyetemi tanár, Gaál Ferenc egyetemi tanár, Dujmovics Ferenc egyetemi tanár, Papp Árpád kutató, Cvetičanin Pintér Livia egyetemi tanár, Berényi János egyetemi tanár, akik 2008. május 10-én Újvidéken, a Forum-ház Tudósklubjában határozatot hoztak a Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács (VMAT) megalakításáról, alapszabályáról és felépítéséről. Az alapszabály szerint az elnökség 11 tagú.

A VMAT bejegyeztetése (Újvidék, 2008), elnökségi összetételek

A VMAT-nak mint polgárok egyesületének a hivatalos bejegyzése 2008. december 4-én történt meg. Székhelye Újvidék, de konferenciákat jobbára az Újvidéki Egyetem Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kara épületében tartunk Szabadkán. A VMAT olyan nonprofit civil szervezet, amely a szerbiai magyar tudományos közösség, elsősorban az MTA szerbiai köztestületi tagsága intézményesített képviseletét végzi, mindenekelőtt az MTA felé. A VMAT alapvető célja a tudomány szerbiai magyar művelői képviseletében hozzájárulni a magyar–magyar, magyar–szerb, valamint a nemzetközi tudományos együttműködés sikeréhez. Feladata a szerbiai magyarság prosperálásá-

nak, a magyar tudományosság ennek érdekében megvalósítandó, egyre hatékonyabb, eredményesebb, átgondoltabb, koordináltabb szerepvállalásának a segítése.

Az alapszabály szerint a VMAT tagja lehet minden természetes személy, a Szerb Köztársaság állampolgára, aki beszéli a magyar nyelvet, és a tudományok doktora (vagy annak megfelelő) címmel rendelkezik, illetve munkásságával jelentősen hozzájárult a tudományok vagy a művészetek fejlődéséhez. A hírt nem fogadták mindenhol gyanakvásmentesen. 2008. június 5-én a belgrádi *Večernje novosti* című lapból értesültünk:

„A Magyar Tudományos Akadémia szándéka, hogy Vajdaságban kihelyezett tagozatot hozzon létre, egy »veszélyes törekvés«, ami mögött a Hatvannégy Vármegye és a Nagy-Magyarország gondolata áll, figyelmeztetett Vasilije Krestić akadémikus csütörtökön a Szerb Tudományos és Művészeti Akadémia évi közgyűlésén. Ez a magyar intézmény megkísérel befolyást gyakorolni a mi területünkön a Vajdasági Tudományos és Művészeti Akadémián keresztül.”¹ (Mićević, Ivana 2008)

A felszólalásnak azonban nem lettek következményei, s az MTA azóta bizonyította, hogy tudományszervező, tudományfejlesztő, hálózatépítő, kommunikációlétesítő tevékenysége a VMAT-on keresztül is csupán pozitív hozadékokkal jár úgy az egyénekre, mint a szakmai közösségekre.

A szervezet vezetői összetételében történt változások mérőföldkövei alapján három periódus mutatható ki:

2008–2015

Elnök: Berényi János tudományos tanácsos (2015. május 3-án elhunyt)

Alelnökök: Gábrity Molnár Irén és Csányi Erzsébet egyetemi tanárok

Titkár: Papp Árpád etnológus

Elnökségi tagok: Vincze István, Gaál Ferenc, Takácsy Árpád, Cvetičanin Pintér Livia, Jeges Zoltán, Dujmovics Ferenc, Hózsa Éva

Az elnökségbe automatikusan beletartozott még két akadémikus: Čamprag Dušan és Kastori Rudolf.

2016–2020

Elnök: Lendák Imre egyetemi tanár

Alelnökök: Csányi Erzsébet, Lengyel László egyetemi tanárok

Titkár: Hózsa Éva egyetemi tanár

¹ „Namera Mađarske akademije nauka i umetnosti da otvori svoje odeljenje u Vojvodini »opasna je tendencija«, iza koje stoji ideja o 64 županije i »Velikoj Mađarskoj«, upozorio je u četvrtak akademik Vasilije Krestić na godišnjoj skupštini Srpske akademije nauka i umetnosti. Ova mađarska institucija pokušava da stvori uticaj na našoj teritoriji, preko Vojvođanske akademije nauka i umetnosti.”

Pénztárnok: Takács Márta egyetemi tanár

Elnökségi tagok: Dujmovics Ferenc, Korhecz Tamás, Beretka Katinka, Guzsvány Valéria, Samu János, Kastori Rudolf (2019-ben Pósa Mihály került Guzsvány Valéria helyére)

2021-ben a VMAT működése elszámolás elmaradása miatt zárlat alá került, az MTA-támogatás elmaradt.

2022– *napjainkig*

Elnök: Csányi Erzsébet egyetemi tanár

Alelnökök: Lukity Tibor, Barak Ottó egyetemi tanárok (2025-től Pósa Mihály került Barak Ottó helyére)

Elnökségi tagok: ifj. Bagi Ferenc, Dudás Attila, Hózsá Éva, Kastori Rudolf, Lendák-Kabók Karolina, Sörös Zita, Takács Márta, Samu János

A VMAT és az MTA közötti kötelékek

E régió tudósainak és tudományosságának a kötődése a Magyar Tudományos Akadémiához több szempontból is mérhető. Szerbia területéről az MTA kimutatása szerint 44 akadémikus került be a Magyar Tudományos Akadémiába. Köztük volt/van Bárczi Géza, Beszédes József, Bori Imre, Herczeg Ferenc, Huszár Rudolf, Kiefer Ferenc, Kiss L. László, Ortutay Gyula, Ribár Béla, Szabó Sándor, Than Károly. Meg kell még említeni Kastori Rudolf akadémikust is, aki nem Szerbiában született, de egész életében Újvidéken tevékenykedett. A tudományos kiválóság ebben a régióban is megtermett régebben és az újabb évtizedekben is.

Az MTA a külső köztestületi tagság bevezetésével és a VMAT működése által nemcsak egyéneket emelt be a munkájába, hanem egy tudományos közösség is körvonalazódni kezdett. A szervezet egyik legfontosabb küldetése éppen a kohézió megteremtése. Az MTA szerbiai köztestületi tagsága az MTA adatbázisa szerint jelenleg 218.

Projektek, munkaformák

A VMAT több projekt kidolgozását is felvállalta a szervezet első éveiben:

1. kutatási projekt: A vajdasági magyar társadalomtudomány-fejlesztés és -kutatások stratégiája – a Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács tevékenységének középtávú tervéhez szükséges háttér adatok. Az MTA HTMT Titkárság támogatásával (2009).
2. kutatási projekt: Magyar kutatási stratégia a Kárpát-medencében. A magyar tudományos hálózat szereplői, működése, teljesítménye és együttműködési lehetőségei Szerbiában. Az MTA HTMT Titkárság támogatásával (2009).

3. Sokszínűség a határon túli magyar régiókban, közös jegyek és különbségek – A kisebbségi magyar közösségek válogatott makro- és mikrotársadalmi tényezői. A Szülőföld Alap Oktatási Kollégiumának támogatásával (2010).
4. A (felső)oktatás és a munkaerőpiac párbeszéde a Vajdaságban (2013 – koordinátor Gábrity Molnár Irén).

A vajdasági magyar tudományos stratégia (rövid és hosszú távú terv)

A VMAT indulásakor rövid távú tervet dolgozott ki. Alapvető feladatunk a tudományszervezés, a hálózatépítés, a kapcsolattartás határon innen és túl. Felismertük, hogy sokkal tervszerűbb, átgondoltabb tevékenységre lenne szükség.

Feladatunkként határoztuk meg a stratégiaalkotást, azaz egy rövid és középtávú vajdasági magyar kutatási terv kidolgozását. Fejlesztési megfontolások alapján e dokumentumok azt a célt is szolgálják, hogy hozzájáruljanak az Akadémia határon túli támogatáspolitikájának megalapozottságához, koherenciájához. Ki kellett dolgozni az MTA vajdasági területi bizottságának létrehozatalához szükséges infrastruktúra és erőforrás tervét.

A VMAT 2008-as rövid távú tervében konkrétan a következő legfontosabb tendenciák szerepelnek: 1. helyzetfelmérés a középtávú vajdasági magyar tudományos stratégiai terv kidolgozásához a VMAT szakbizottságai révén (MTA-projektum); 2. tudományos konferenciák szervezése (évenként); 3. a vajdasági magyar tudományos adatbázis elkészítése (digitalizálás); 4. tudományos projektumok kidolgozása (hálózatos partnerkapcsolatok kialakítása egyének és civil szervezetek között); 5. szerbiai magyar tudósok és kutatók bekapcsolása az anyaország tudományos vérkeringésébe.

Ezt a szerepkört néhány célravezető területen láttuk megvalósíthatónak: A) a szerbiai MTA köztestületi tagsággal való folyamatos kommunikációval; B) a vajdasági magyar érdekeltségű felsőoktatási intézményekben tevékenykedő magyartanárok, kutatók számbavételével, informálásával az anyaországi tanácskozások, publikálások és kutatások lehetőségeiről; C) a tudományos műhelyek, civil és szakmai szervezetek munkájának koordinálásával (hálózatos projektmunkák Vajdaságban vagy a Kárpát-medencében) és az állami alapítású, magyar érdekeltségű művelődési intézetek, levéltárak, múzeumok kutatóinak bevonásával a tudományos kutatásokba.

A Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács a rövid távú tervet megvalósította. Kérdőívekben mérte fel a helyzetet (2009, 2018) a középtávú vajdasági magyar tudományos stratégiai terv megalapozásához, 15 Tudóstalálkozót szervezett, elkészítette a tudományos adatbázist mintegy 300 taggal, projektumokon dolgozott (forrástól függően), és bekapcsolta a szerbiai magyar kutatókat az anyaország tudományos vérkeringésébe.

A középtávú terv érdekében fejlesztési stratégia elkészítését indítványoztuk (analitikus helyzetkép-kialakítást, a Kárpát-medencei tudományos hálózat létrehozását sürgettük, illetve új források fellelése céljából kérdőívek, elemzések, tanulmányok születtek), de magát a középtávú tervet nem készítettük el.

Körvonalazódott, hogy a tudományos stratégia készítésekor a következőket kellene felmérni:

1. Milyen szerepe van ma, illetve lehetne középtávon a tudományos kutatásnak Vajdaság magyar közössége életében; milyen funkciót láthatna el középtávon egy intézményhálózat, a műhelyek és a szereplők, valamint az általuk produkált teljesítmények? El kellene készíteni egy szintézist és állapotfelmérést, megállapítani az adott működési modell társadalmi relevanciáját, az intézmények és tudományos teljesítmények tipizálását, súlyozását (központok, műhelyek, programok – tartalma, időtartama, lokális funkciója, nemzetközi beágyazottsága, fenntarthatósága, eredményei/publikációk). Fel kellene mérni a meglévő intézmények és rendezvények szereplőit, kompetenciáját, sikerességét, majd együttműködési lehetőségeit Magyarországgal, Romániával, Szlovákiával, Kárpátaljával, illetve a többségi nemzettel, valamint a nagyvilággal. Meg kellene határozni a prioritásokat. A vajdasági magyar közösség szempontjából nyilvánvalóan hatványozott jelentősége van az együttműködési hálózatok Kárpát-medencei régióban zajló kiépítésének. Fel kellene vázolni a térségi együttműködések meglévő és kívánatos hálózatát: Magyarországgal, a többségi nemzet alkotóival, valamint Kárpát-medencei szinten.
2. Fel kellene tárnai a régióban élő magyar kutatók szakterülettől függő sajátos helyzetét és igényeit.
3. Meg kellene határozni az erősségeket és gyengeségeket: milyen területen folyik színvonalas tevékenység a magyar kutatók részéről Vajdaságban (színvonalas = nemzetközi szakmai mérhetőség, és/vagy térségi, közösségi szerep), s mely területek azok, melyek hiánya égető, melyekre megvan a társadalmi szükséglet.
4. Az innováció kutatómunkát jelent, ezért a prioritások között nemcsak a már elismert, sikeres tevékenységnek kell teret adni, hanem a kísérletező, kezdeményező, új utakat kereső műhelyeknek is.

A VMAT 2009-es alapozó projektjének felismerései

1. A vajdasági magyarságnak a tudományos életben dezorganizált intézményes szigetei vannak.
2. A vajdasági magyar tudományosságban hiányos a stratégiai gondolkodás: az intézményesítés kivitelezhetősége homályban van.
3. A szakmai műhelyek státusa és a forráshiányok nem teszik lehetővé az átfogó jövőtervezést: feladatáthárítás van jelen; egyes kutatócsoportok és a szakmai testületek nem illetékesek, felsőoktatási intézményhez csatlakoznának (például Társadalomtudományi Kutatóintézet vagy Központ).
4. A vajdasági magyar tudományosság rövid távú feladatai:
 - helyzetelemzés a tudományos műhelyek tevékenységéről és új kutatók szám-bavétele (doktoranduszok);

- a rendelkezésre álló források és támogatásalternatívák racionális hálózatos leosztása;
- nemzetközi és anyaországi intézményes és műhelykapcsolatok/hálózatok;
- a tudományos ágazatok és szakmai testületek összedolgozása, előtérbe helyezve az interdiszciplináris kutatásokat és publikációkat.

Gábrity Molnár Irén a VMAT fennállásának tizedik évfordulóján tartott összefoglalójában 2018-ban kiemelte, hogy az intézményesítés továbbra is hiányzik, nem sikerült megvalósítani. Mindebből az a „tanulság, hogy intézményes/felsőoktatási háttér nélkül nem működik a tudományos hálózatépítés és a tömegesítés” (Gábrity Molnár 2018).

Kérdőíves felmérések (2009, 2016–2018)

A VMAT (első projekt) 2009-ben egy kérdőívvel mérte fel az akadémiai szféra tagjainak a véleményét a vajdasági magyar tudományosság fejlesztését elősegítő stratégia kidolgozása érdekében. Mi legyen fókuszban, milyen prioritások legyenek, milyen partnerekre lehet támaszkodni? Milyen kutatási igények és kapacitások vannak? A felmérés függvényében kiderült, hogy két területen lenne érdemes kutatóközpontot, tudományos műhelyt létesíteni: ezek az informatika és telekommunikáció, valamint az interdiszciplináris társadalomkutatás.

A Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács 2015-ös Tudóstalálkozóján a résztvevők záronyilatkozatot fogadtak el, amelyben összefoglalták a hazai magyar felsőoktatás és tudományosság helyzetét („A Tudóstalálkozó 2015 záronyilatkozata” 2015). Idézzük:

Záronyilatkozat – Tudóstalálkozó 2015

1. A Tudóstalálkozó 2015 c. konferenciára bejelentett több mint 70 előadás a vajdasági magyar tudományosság jelenlegi állapotának egyféle metszetét adja. Tükrözi a kutatási területeknek, a tudományos diszciplínáknak, a humán erőforrásnak, a junior és senior kutatók eloszlási erőviszonyainak, az intézményes háttérnek az arányait, hiányosságait és megoldatlanságait is.
2. A Tudóstalálkozó 2015 fontosnak tartja egy átláthatóbb felsőoktatási-tudományos helyzetkép kialakítását Vajdaságban, ezért támogatja egy internetes adatbázis és portál létrehozását a Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács honlapján (www.vmat.rs). Az anyag gyűjtése elkezdődött. Az MTA külső vajdasági köztesületi tagságának adatbázisa szolgál alapul. A személyes szakmai bibliográfiákhoz linkek csatolhatók (MTMT, tanszéki weblapok, KNR – Karton naučnih radnika, Linked, researchgate.net, academia.edu, Google Scholar stb.).
3. A vajdasági magyar tudományosság hatékonyságának növelése érdekében a dezorganizált civil szféra és a már meglévő, állami tudományos és felsőoktatási intézmények tevékenységének összehangolására, valamint – ahol az lehetséges

és indokolt – a civil szféra államivá fejlesztésére van szükség. A Tudóstalálkozó 2015 kezdeményezi a jobb szervezettségi szint, együttműködési stratégia és hatékonyabb kommunikáció kialakítását a VMAT segítségével.

4. A Tudóstalálkozó 2015 szükségesnek tartja egy új felsőoktatás-fejlesztési, -kutatási stratégia mielőbbi kidolgozását, a regionális fejlesztési elképzelések, prioritások, forrásstruktúra meghatározását, a vajdasági magyar egyetemi káderállomány fejlesztési és tudományos utánpótlási tervének meghatározását a VMAT koordinálásával, az MTA külső köztestületi tagságának bevonásával.
5. A Tudóstalálkozó 2015 sürgeti és támogatja új, magyar tannyelvű, Szerbiában akkreditált alapszakok beindítását, a magyar tannyelvű mesterképzési paletta bővítését és doktori iskolák indítását, hiszen elsősorban a hazai egyetemi képzés biztosítja fiataljaink itthon maradását.
6. Külön feladat a szerb nyelv hatékonyabb elsajátításának biztosítása az iskola-rendszerben.
7. A Tudóstalálkozó 2015 szükségesnek tartja új felsőoktatási intézmények (Szabadkai Egyetem) és kutatóintézetek létrehozását. Követeli a vajdasági magyar tudományos-felsőoktatási szférának a tervezésben, kidolgozási folyamatban, döntéshozatalban való tényleges részvételét, ami eddig – megengedhetetlen módon – elmaradt. A fenti stratégia kidolgozását a Tudóstalálkozó 2015 résztvevői magukra vállalják, egyúttal kéri az illetékes politikai testületeket, hogy a Tudóstalálkozó 2015 szakmai kompetenciáit tudomásul véve tekintsék azt egyenrangú partnernek közös, jól felfogott jövőnk érdekében.
8. A Tudóstalálkozó 2015 résztvevői a vajdasági magyar felsőoktatás és tudományosság érdekképviselőt a Magyar Nemzeti Tanács bizottságaiban elégtelennek tekintik, és haladéktalanul kezdeményezik ennek orvoslását. Állami felsőoktatási intézményeink vezetőinek (1. ÚE, MTTK – Szabadka, 2. ÚE, BTK, Magyar Tanszék – Újvidék, 3. BE, Filológiai Kar, Magyar Tanszék – Belgrád, 4. Műszaki Szakfőiskola, Szabadka, 5. ÚE, Művészeti Akadémia, színitagozat, Újvidék), valamint civil tudományos és felsőoktatási szervezeteinknek a legitim képviselő megkerülhetetlen a további tevékenység során, hogy valós képet kapjunk értékeinkről, lehetőségeinkről, jövőnkéről. A Magyar Nemzeti Tanács testületeiben a vajdasági magyar felsőoktatás és tudományosság mielőbb meg kell, hogy kapja méltó helyét.

Szabadka, 2015. 04. 25.

Tudóstalálkozó 2015

A Zárónyilatkozat nagy visszhangot kapott, Hódi Sándor pszichológus így nyilatkozott: „Az elmúlt 25 évben – a társadalmi önszerveződés kezdeti lendülete után – talán ez, mármint a Tudóstalálkozó 2015, illetve a VMAT kezdeményezése szellemi téren az egyik legelőremutatóbb fejlemény kisebbségi társadalmunkban” – írta, hozzátéve: „A Tudóstalálkozó 2015 Zárónyilatkozata kiváló, a legfontosabb konstruktív javaslatokat tartalmazza” („A Tudóstalálkozó 2015 zárónyilatkozata” 2015). Az érintett

szakmai szervezetek egyeztető vitafórumokat, műhelybeszélgetéseket tartottak a vajdasági akadémiai közösség, az MTA szerbiai köztestület, a mérvadó felsőoktatási intézmények képviselőivel, tudományos civil szervezeteink, doktoranduszaink bevonásával.

A 2015 óta zajló egyéni, kérdőíves lekérdezések és az intézmények, szakmai szervezetek, testületek egyeztető fórumain, kerekasztal-értekezletein kikristályosodó szakmai állásfoglalások alapján Vajdaságban felsőoktatási intézményes fejlesztések szükségessé váltak.

A Vajdasági Magyar Felsőoktatási Kollégium és a Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács, a Vajdasági Magyar Doktorandusz Szervezet 2016-ban és 2017-ben több kérdőívvel fordult a vajdasági tudományos szféra képviselői felé a vajdasági magyar felsőoktatási és tudományos intézményrendszer fejlesztése és a Vajdasági Magyar Tudományos Adattár létrehozása érdekében.

2018-ban a VMAT10 jubileumi rendezvény keretében „Vajdasági magyar tudományos és felsőoktatási helyzetkép és fejlesztési lehetőségek” címmel kerekasztal-értekezletet tartottak Szabadkán az MTTK-ban („VMAT 10”).

A stratégiai gondolkodás összegzése

Az akadémiai szféra képviselői 2015–2019 között folyamatosan sürgették az intézményesítést („A 15. VMTDK tudományos kerekasztalának...” 2016). A kezdeményezések nyilatkozatokban, tudományos konferenciákon és a sajtóban is megjelentek. Az egyetemi tanárok, kutatók és doktoranduszok ankétválaszaiban is az a vélemény dominált, hogy a megmaradás érdekében égetően szükség van új, dominánsan magyar tannyelvű, Szerbiában akkreditált felsőoktatási tanulmányi programok (alap- és mesterszakok) beindítására, magyar adminisztratív vezetésű, új felsőoktatási-tudományos intézmények (Vajdasági Magyar/Multietnikus Egyetem és Vajdasági Magyar Kisebbségkutató Intézet) létrehozására. A cél egyrészt a vajdasági magyarság iskolázottsági szintjének emelése, az értelmiség térnyerése, a dezorganizált tudományos civil szféra korszaka után a közintézmények létrehozása, másrészt a vészes munkanélküliség és az elvándorlás megfékezése, ami csakis hazai akkreditációval és vajdasági tanári állománnyal rendelkező, önálló magyar felsőoktatási és tudományos intézmények révén valósítható meg.

Politikai akarat hiányában azonban ezekből a célokból sajnos szinte semmi nem valósult meg, noha az egyetemi képzés és a doktoranduszok elhelyezkedési lehetősége olyan súlyos téma, amely jelentős mértékben meghatározza/meghatározta a vajdasági magyarság jövőjét (Novák 2016).

Konferenciák (2009–2025)

A VMAT legfontosabb rendezvénye az évente létrehozott Tudóstalálkozó. Ezek időpontja és helyszíne az alábbiak szerint alakult:

1. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, Innovatív tudomány, MTTK, Szabadka, 2009.
2. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, MTTK, Szabadka, 2011.
3. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, MTTK, Szabadka, 2012.
4. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, MTTK, Tudományos diszkurzusok, Szabadka, 2013.
5. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, Tudástérkép, MTTK, Szabadka, 2014.
6. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, Tudás és régió, MTTK, Szabadka, 2015.
7. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, Tudomány és erő, MTTK, Szabadka, 2016.
8. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, Tudományos távlatok, MTTK, Szabadka, 2017.
9. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, Közösség-kutatás-kihívás, MTTK, Szabadka, 2018.
10. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, Szabadság és tudomány, MTTK, Szabadka, 2019.
11. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, online, 2020.
12. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, MTTK, Szabadka, 2022.
13. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, MTTK, Szabadka, 2023.
14. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, MTTK, Szabadka, 2024.
15. Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó, MTA Székház, Budapest, 2025.

A tudományos konferencia célja, hogy elősegítse a magyar nyelvű tudományos gondolat és kommunikáció fejlődését Vajdaságban, közös fórumot biztosítson a vajdasági magyar tudományos élet szereplőinek, fejlessze a vajdasági magyar tudományosság rendszerszintű és intézményes potenciáljait, hozzájáruljon a régióon belüli és a régióközi tudományos együttműködés kiépítéséhez. A VMAT ernyőszervezet, legfőbb feladata a kutatásszervezés, a tudományos együttműködés és a kohézió szolgálata. A Tudóstalálkozókon doktoranduszok is szerepelnek, miáltal a VMAT szerepet vállal a tudományos utánpótlásban és tehetséggondozásban. A Tudóstalálkozókon évente 50–100 kutató lép fel. A VMAT a Tudóstalálkozón kívül egyéb tanácskozásokat is szervezett.

A vajdasági magyar tudományos adatbázis elkészítése (2017–2018 – digitalizálás)

2016–2017-ben a VMAT elkészítette a Vajdasági Magyar Tudományos Adattárat, egyúttal körkérdest is intézett a PhD-fokozattal rendelkezőkhöz, illetve doktoranduszokhoz. A bázisba 308 személy jelentkezett. Az adattár tudományterületek szerint szakbizottságokba rendezi a tagokat, s a bizottságok tevékenységét koordinátorok irányítják. A természettudományi szakbizottság 45 tagot, a műszaki tudományok 66 tagot, az orvostudományi szakbizottság 20 tagot, az agrártudományi szakbizottság 15 tagot, a társadalomtudományi szakbizottság 40 tagot, a bölcsészettudományi szakbi-

zottság 103 tagot, a művészeti szakbizottság 11 tagot számlál. Ők képezik a vajdasági magyar akadémiai közösség zömét, azt a humán erőforrást, amelyre az intézményes fejlesztést építeni lehet.

Kiadói tevékenység

A VMAT rezüméköteteket ad ki a Tudóstalálkozókra, valamint a tanulmányokból gyűjteményes konferenciaköteteket jelentetett meg. Ezek digitális formában is elérhetőek („Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó 2014”).

Az MTA Domus-ösztöndíjak hatása – szülőföldi kutatások serkentése és a szerbiai magyar tudósok bekapcsolása az anyaország tudományos vérkeringésébe

Minden évben megjelennek az MTA Domus-ösztöndíjainak felhívásai, ezeket közvetítjük a tagság felé. A Magyar Tudományos Akadémia „Domus Hungarica Scientiarum et Artium” ösztöndíjprogramja a határon túli magyar tudósok életében rendkívül nagy szerepet játszott a kezdetektől fogva. Az intézményes, hivatalos forma, az MTA kötelékébe való tartozás egy magas szintű szerveződést jelentett, tudatformáló erőként is hatott, az anyaországi kutatási, kapcsolati lehetőségek pedig kinyíltak. A pályázati felhívások junior és senior kategóriában külföldön élő, magyar nyelvű és tárgyú tudományos kutatásokat folytató egyéneket szólítottak/szólítanak meg. A pályázat egyik feltétele az MTA külső köztestületi hálózatába való belépés. A felhívások a csoportos kutatások, a civil szervezeti működés, a kiadói tevékenység, a konferenciaszervezés és -részvétel támogatását is felölelik, s ezáltal egy komplex tudományos tevékenység motiváló erejét képviselik.

A Domus-ösztöndíjak a kezdetektől megcélolták a határon túli tudósok magyarországi tudományossággal való kapcsolatfenntartását, fejlesztették a külhoniak anyaországi kutatásait, de az otthoni egyéni kutatásokat, valamint az otthoni magyar tudományos intézmények munkáját is.

Ami eddig kevésbé jutott kifejezésre, az a határon túli magyar tudományos központok egymás közti hálózatosodása, összekapcsolódása és a kisebbségi létformából következő sajátosságok rendszerszerű és összefüggéseiben áttekinthető kutatása. A határon túliak egymásra figyelése, a közös nevezők felfedezése, tudatosítása, valamint az együttműködési lehetőségek fejlesztése terén még van tenni való. Ebbe az irányba lehetne a Domus-programot is kiterjeszteni. A MTA Magyar Tudományosság Külföldön Elnöki Bizottságának hírlevele és a Határon Túli Magyarok Titkárságának sajtószemléje egy ilyen irányú gondolkodáshoz nyújt ösztönzést: a hálózati modell érvényesítésével a közös gondolkodás és problémafeltárás kialakítása e régiók magyar tudományosságán belül, az eddigi eredmények közös újraértelmezése, ezáltal egy magasabb szintű, szintetizáló elméleti platform létrehozása, új, hiánypótló irányok és programok megfogalmazása, az intézményi és egyéni szellemi tőke mozgósítása.

Díjak – az MTA Arany János-díjainak hatása

Az MTA Arany János-díjai fontos elismerést jelentenek a nyertesek számára, hiszen ez nemzetközi elismerésnek számít. A VMAT 2022-től itthon is megünnepli az Arany János-díjban részesült vajdasági kollégákat.

A Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács 2017-ben létrehozta a Vajdasági Magyar Tudományosság Aranybagoly Díját PhD tudományos fokozattal rendelkező vajdasági magyar kutatók részére. A díj éremből, oklevélből és pénzjutalomból áll.

Partnereink

Magyar Tudományos Akadémia, Budapest
Magyar Tudományosság Külföldön Elnöki Bizottsága, Budapest
MTA Határon Túli Magyarok Titkársága, Budapest
MTA Szegedi Akadémiai Bizottság (2022), Szeged
MTA Pécsi Akadémiai Bizottság (2023), Pécs
Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, Szabadka
Vajdasági Magyar Felsőoktatási Kollégium, Újvidék
Magyarságkutató Tudományos Társaság, Szabadka
BTK, Magyar Nyelv és Irodalom Tanszék, Újvidék
Vajdasági Magyar Doktoranduszok és Fiatal Kutatók Szervezete, Szabadka

Eredmények – összegzés

A VMAT által intézményes formában, közvetlenül és folyamatosan szerveződnek és fejlődnek a magyar–magyar tudományos kapcsolatok (MTA külső köztestület – 2000). Egyrészt a vajdasági magyar kutatók, másrészt a vajdasági és a magyarországi tudósok, harmadrészt a vajdasági és a többi határon túli tudományos szereplők közötti ismeret-ségek, kapcsolatok alakulnak ki a közös rendezvények, projektek alkalmával.

A VMAT által az MTA tudománytámogatási rendszer a határon túli magyar kutatók számára nemcsak egyéni szinten érhető el, hanem szervezeti/intézményes formában is. A legfontosabb a Domus Hungarica ösztöndíjprogram (1997), amelynek keretében műhely-, konferencia- és kiadványtámogatásokra (2005) lehet pályázni. A közös projektek keretében Kárpát-medencei kutatási hálózatok jöttek létre: Termini (2001), Aranymetszés (2012) stb. Egészében az MTA hatására fokozódik a szakmai mobilitás, az egymásra való odafigyelés a magyar tudományosságon belül.

A VMAT 2008-ban nagy reményekkel és célokkal indult, amelyek között a legfontosabb elképzelések a vajdasági magyar tudományosság intézményesítéséhez kötődtek. E stratégiai célokat azonban a szervezet nem tudta megvalósítani az anyagi eszközök elmaradása és a politikai kisajátítás miatt.

A szervezetnek sok mindent sikerült viszont tető alá hoznia: a tudományos civil szervezetek ernyőszervezeteként működik, bevezette és állandósította a Tudóstalálko-

zót, amely Vajdaságban egyedülálló, nemcsak azért, mert a legtömegesebb vajdasági magyar tudományos/interdiszciplináris tanácskozás, hanem mert minden szakterületet felölel. Kialakította továbbá tudományos kiadói tevékenységét (rezümékötetek, konferenciakötetek). Képviseli, közvetíti és segíti az MTA Magyar Tudományosság Külföldön Elnöki Bizottság munkáját.

2017-ben létrehozta a Vajdasági Magyar Tudományosság Aranybagoly Díját, adattárat hozott létre, együttműködési szerződést írt alá a Kárpát-medence magyar tudományos szervezeteivel (Szeged, Pécs). Honlapján létrehozta a VM Tudományos Adattárat, melynek 300 tagja van.

A VMAT eredményei közé kell sorolni azt is, hogy passzivitás vagy elkendőzés helyett többször is cselekvő módon állt hozzá a vajdasági magyar felsőoktatást és tudományosságot meghatározó alapvető problémához, ami az intézmények kiépületlensége. A felsőoktatást illetően az utódállamok közül Szerbiában (Vajdaságban) a legrosszabb az anyanyelvi felsőoktatási képzési kínálat, ezért egyre nagyobb a Magyarországon tanuló vajdaságiak száma. Vajdasági magyar felsőoktatási intézményrendszerrel nem is igen beszélhetünk. Magyar nyelven a hallgatók csak négy intézményben részesülhetnek állami felsőfokú képzésben: az Újvidéki Egyetem Magyar Tannyelvű Tanítóképző Karán (óvó- és tanítóképzés, kommunikátorképzés; Szabadka; jogalany), az Újvidéki Egyetem BTK Magyar Nyelv és Irodalom Tanszékén (Újvidék; nincs jogi önállósága), az Újvidéki Egyetem Művészeti Akadémiáján színészképző tagozaton (Újvidék; nincs jogi önállósága), valamint a Szabadkai Műszaki Szakfőiskolán (Szabadka; jogi szubjektum, szerb és magyar tannyelvű intézmény). Az elmúlt évtizedben ezen a struktúrán csak töredékesen sikerült javítani, viszont a vajdasági magyarság 70 000 fővel szegényebb lett.

Irodalomjegyzék

- „A 15. VMTDK tudományos kerekasztalának zárónyilatkozata” (2016). *szmsz.press* (2016. nov. 18.). <https://szmsz.press/2016/11/18/a-15-vmtdk-tudomanyos-kerekasztalanak-zaronyilatkozata/>.
- „A Tudóstalálkozó 2015 zárónyilatkozata” (2015). *vajma.info* (2015. ápr. 25.). <https://www.vajma.info/cikk/kozlemenyek/2619/A-Tudostalalkozo-2015-zaronyilatkozata.html>.
- Gábrity Molnár Irén (2018). „A Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács tíz éve” [A Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács tízéves jubileumi ünnepsége, MTTK, Szabadka, 2018. november 3.]. Kézirat, VMAT archívum.
- Mičević, Ivana (2008). „Opasan mađarski uticaj”. *Večernje novosti* (2008. jún. 5.). <https://www.novosti.rs/vesti/naslovna/aktuelno.69.html:216713-Opasan-madjar-ski-uticaj>.
- Novák Anikó (2016). „Világformáló erő – vajdasági magyar tudományosság”. *Szabad Magyar Szó* (2016. dec. 11.). <https://szmsz.press/2016/12/11/vilagformalo-ero-vajdasagi-magyar-tudomanyosság/>.
- „Vajdasági Magyar Tudóstalálkozó 2014”. *vmat.rs* (letöltés: 2025. júl. 18.). <https://vmat.rs/tudostalalkozok/tudasterkep-vajdasagi-magyar-tudostalalkozo-2014/>.
- „VMAT 10 – A vajdasági magyar tudományosság ernyőszervezetének tíz éve”. *szmsz.press* (letöltés: 2025. júl. 18.). <https://szabadmagyarszo.com/2018/11/04/vmat-10-a-vajdasagi-magyar-tudomanyosság-ernyoservezetének-tíz-eve/>.

TUDOMÁNYHÓNAP

Bemutatkozik az Akadémia XI. Osztálya – az MTA200 szeptemberi programjai

Section XI of the Hungarian Academy of Sciences Presents: MTA200 September Programmes

Sólyom Jenő

az MTA rendes tagja, HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest; ELTE Fizikai Intézet, Budapest
solyom.jeno@wigner.hu

Bevezetés

Az MTA200 alkalmából a Fizikai Tudományok Osztályára jutó szeptember hónap folyamán az osztály által szervezendő programokra erősen rányomja a bélyegét, hogy a 2025. évben nemcsak a Magyar Tudós Társaság 200 évvel ezelőtti alapítására emlékezünk, hanem az egész világ, de különösen is a fizikusközösség, egy másik eseményt is ünnepel: a modern kvantumelmélet megszületésének 100. évfordulóját. Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr és mások munkássága révén már a 20. század első negyedében körvonalazódott ugyan, hogy a mikrovilágban a fizikai mennyiségek egy része nem folytonosan változik, hanem csak diszkrét értékeket vehet fel, azaz kvantálva van, a modern kvantumfizika születését Louis de Broglie, Erwin Schrödinger és Werner Heisenberg munkáitól számítjuk. Louis de Broglie 1924-ben fogalmazta meg az elektronok hullámtermészetéről szóló hipotézisét, Erwin Schrödinger 1925 végén írta fel és 1926 elején publikálta ezeknek a hullámoknak az egyenletét, Werner Heisenberg pedig 1925 nyarán nyújtotta be publikálásra saját elméletét, amelyből Max Born és Pascual Jordan közreműködésével még abban az évben megszületett a kvantummechanikának egy matematikailag különböző, fizikailag azonban ekvivalens megfogalmazása.

Ez az egykor ezoterikusnak, a mindennapoktól távolinak tűnő tudományág az elmúlt évszázadban átalakította a világ arculatát. Nemcsak a természettudományon, ezen belül a fizikán belül okozott szemléletbeli forradalmat és nyitott meg számos gyökeresen új kutatási irányt, hanem a rá épülő modern technológia a mindennapi életbe is behatolt – elég az informatika széles körű társadalmi hatásaira gondolni. Ezt ismerte el az ENSZ Közgyűlése, amikor 2024 júniusában a 2025. évet a kvantumtudomány és -technológia nemzetközi évévé (International Year of Quantum Science and Technology, IYQ 2025) nyilvánította.

Ezért az akadémiai bicentenárium alkalmából szervezett fizika hónapja programjában nemcsak a hazai fizika – ideértve a csillagászatot, a Fizikai Tudományok Osztálya másik tudományágát – eredményeit kívánjuk általában bemutatni, hanem kiemelt helyet biztosítunk a kvantumelmélettel és -technológiával kapcsolatos eseményeknek.

A program tervezésekor első lépésben arról kellett döntenünk, hogy milyen közönséget kívánunk megcélózni, kiket szeretnénk megszólítani, a fizika vonzáskörébe bevonni. Nagyon hamar kialakult, hogy a hónap eseményeivel – a szakmai konferenciák mellett – hangsúlyosan a fiatalokban, a középiskolás diákokban szeretnénk felkelteni az érdeklődést a természettudományok s azon belül különösen a fizika és csillagászat iránt, megmutatva nekik e tudományágak szépségét, érdekességét, illetve ismeretterjesztő előadásokat és kísérleti bemutatókat kívánunk tartani a tudomány iránt érdeklődő laikusoknak, a „művelt közönségnek”.

Kiállítás az aulában

Az Akadémia palotájába szeptember folyamán belépőket poszterek, kivetítők és néhány, a fizikai kutatáshoz kapcsolódó tárgy fogja fogadni az aulában. Az első poszter röviden azt mutatja be, hogy a XI. Osztályhoz tartozó két tudományág, a fizika és csillagászat, illetve annak művelői milyen módon jelentek meg az Akadémia életében a 200 év folyamán. A többin pedig az egyenként is igen szerteágazó szakterületek – az anyagtudomány, az atom- és molekulafizika, a biofizika, a csillagászat, a gravitáció fizikája, a kvantumfizika, a kvantumtechnológia, a komplex rendszerek fizikája, a lézerfizika, a magfizika, a részecskefizika és az űrfizika – mutatkoznak be. Azt villantják fel, hogy melyek a legizgalmasabb kutatási irányok, milyen érdekes eredmények, alkalmazások születtek ezeken a területeken itthon az utóbbi évtizedekben, rámutatva arra, hogy az alapkutatásokból olyan eredmények is születtek, amelyekre támaszkodva nemcsak kis spin-off cégek, hanem több száz, akár ezer főt is foglalkoztató, nemzetközi szinten is jegyzett high-tech vállalatok is létrejöttek.

A fizikai kutatás mindennapjaiba, a laboratóriumokban folyó munkába engednek betekintést a kivetítőkön megtekinthető kisfilmek. Terveink szerint az egyik kivetítőn fizikai kutatási eredményeket bemutató kisfilmek futnak folyamatosan, mintegy egyórás ismétléssel, egy másik kivetítőn pedig a néző maga választhatja ki a megnézendő videót.

A kiállítandó tárgyak közül megkerülhetetlen Eötvös Loránd torziós ingája, amely a fizikusok számára elsősorban azért fontos, mert ezzel igazolta Eötvös munkatársaival rendkívül nagy pontossággal a súlyos és tehetetlen tömeg arányosságát, ami Einstein általános relativitáselméletének egyik alapfeltevése. Bemutatunk egy lézert, amely ultrarövid fényfelvillanásaival fontos szerepet játszott az 1980-as évek hazai lézerfizikai kutatásaiban. Az első lézert 1960-ban építették meg az USA-ban, akadémiai kutatók pedig példás gyorsasággal vették át ezt az úttörő technológiát az első magyar lézer 1963-as létrehozásával az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetében

(KFKI). A kiállításon az ország egyik meghatározó lézerfizikai iskolájában, Szegeden épített úgynevezett festéklézer rekonstruált változata lesz látható.

A lézerfizika egy áttörést hozó eredményéhez kapcsolódik egy másik, látszólag kis kiállítási tárgy, egy, a kilencvenes években a KFKI-ban megtervezett és előállított, az angol chirped mirror mintájára csörpölt tükörnek is nevezett fáziskorrigáló tükör, amelynek különleges optikai tulajdonságai vannak. Ennek alkalmazása alapvető fontosságú volt Krausz Ferenc Nobel-díjjal jutalmazott, rendkívül rövid idejű, attoszekundumos fényimpulzusokat használó kísérleteinél.

Gábor Dénes, Akadémiánk tiszteleti tagja Nobel-díjjal is elismert találmánya valódi képek háromdimenziós megjelenítését teszi lehetővé a holografikus elv alkalmazásával. A látványhologramok készítésének újabb módszere a digitális képrögzítés. A kiállításon két kis méretű monokróm és több nagyobb, speciális, digitális hologram is bemutatásra kerül.

A csillagok világát egy, a 19. század végéről származó díszes, 32 cm átmérőjű, nemrég igényesen felújított éggömb fogja bemutatni. A Prágában készült mestermű érdekességét nemcsak a csillagképek ábrázolása jelenti, de a magyar feliratok is, amelyek segítségével felfedezhetjük azt is, mennyit változott másfél évszázad alatt a szaknyelv. A részecskefizikai kutatásokra pedig egy látványos, a Wigner Fizikai Kutatóközpontban készült, kozmikus müonok vizualizálását LED-sorokkal lehetővé tevő, többszörös, proporcionális, gáztöltésű detektorkamra utal.

Ismeretterjesztő előadás-sorozat a kvantumfizikáról és modern alkalmazásairól

A székházban szeptemberben szinte mindennap lesz valamilyen esemény. Fizikus részről a kettős évfordulót talán nem is lehetne méltóbb módon ünnepelni, mint azaz, hogy a tudomány iránt érdeklődőknek a kvantumelmélet alapfogalmai, furcsa és a köznapok szemlélet számára új, nehezen elfogadható gondolatvilága mellett a kvantumelmélet eredményeit gyakorlati alkalmazásokra váltó modern technológiát is bemutatjuk.

„A kvantumok világa – a 21. század életének formálóját” című jubileumi előadás-sorozat 12 előadását az egyes területek kiváló szakemberei tartják, a tudományos hitelesség mellett a közérthetőség szempontjait is figyelembe véve. A sorozat előadásainak hallgatói és az előadásokról készült videókat megtekintők átfogó képet kaphatnak a 20. század legnagyobb tudományos áttöréséről, valamint az immár termőre fordult kvantumelmélet 21. századi gyümölcseiről és várható eredményeiről is.

A sorozatot indító „A kvantummechanika itt van velünk” című előadásban Cseri József, az ELTE egyetemi tanára arra mutat rá, hogy a kvantummechanika nem csupán az atomok és más mikroszkopikus részecskék leírására szolgál, hanem az atomok és az elektronok kvantumviselkedése alapvetően befolyásolja makroszkopikus világunkat, mindennapi életünket. Olyan kérdésekre kapunk választ, mint például: hogyan segít a vasalásban az alagúteffektus? Miért zöld a fű? Hogyan mozognak

az elektronok a fémekben, félvezetőkben, és ennek megértése miképpen segítette azt az örületes fejlődést, amelyet az elektronikában láthatunk a számítógépektől az okos-órákig? Hogyan vált életünk részévé (még ha ezt legtöbbször nem is tudjuk) a szupravezetés jelensége, amelynek felfedezése és magyarázata a fizika egyik legnagyobb eredménye, és egyben a kvantummechanika makroszkopikus manifesztációjának egyik nagyszerű példája? Mi is az a kvantumos Hall-effektus, és mire jó?

A „Milyen a világ, ha kvantum?” című előadásban Takács Gábor, a BME egyetemi tanára arra a kérdésre keresi a választ, hogy milyen a világunk a kvantummechanika törvényei szerint. Felfedezzük a kvantumvilág alapvető jelenségeit, a szuperpozíciót és az összefonódást. Megvizsgáljuk, hogyan térnek el ezek a törvények drámaian a klasszikus fizika által leírt világtól, és milyen következményekkel járnak. Az előadás célja, hogy közérthető módon mutassa be a kvantumfizika alapjait, eloszlasson néhány tévhitet, és elgondolkodtasson arról, hogy a valóság legalapvetőbb szintje mennyire különbözik intuitív elképzeléseinktől.

Domokos Péter akadémikus, a Wigner Fizikai Kutatóközpont kutatóprofesszora „Schrödinger macskája a laborban” című előadásában megismerkedünk azzal a kísérteti rendszerrel, amelyben életre kelnek a kvantummechanika furcsa törvényei, és a fizikusok tervezett és kontrollált módon manipulálhatják, valamint megmérhetik fotonok és atomok kvantummechanikai állapotát. Ötletes eljárásoknak köszönhetően megelevenedik az absztrakt matematikai Hilbert-tér, és még akár Schrödinger-macskákat is meg lehet figyelni laboratóriumi körülmények között. Megmutatjuk, hogy a kvantumelmélet fundamentális kérdéseinek kutatása hogyan vezetett el a napjainkban kibontakozó kvantumtechnológiai forradalomhoz.

A „Neumann Jánostól a kvantumos összefonódásig” című előadásban Zaránd Gergely akadémikus, a BME egyetemi tanára az entrópia és irreverzibilitás kvantumelméleti sajátosságait tekinti át. Alapvető tapasztalatunk, hogy a világ irreverzibilisen, visszafordíthatatlanul egy irányba fejlődik. Ezt a visszafordíthatatlanságot méri a hő fogalmához kapcsolható termodinamikai entrópia. Neumann János ezt általánosítva vezette be a kvantummechanikai entrópia fogalmát, amely egyszerre képes megragadni ismereteink hiányát, valamint számot adni a kvantumszámítások egyik legfontosabb erőforrásáról, az összefonódásról.

A „Nanoelektronikától a kvantumelektronika felé” című előadásban Csonka Szabolcs, a BME-n működő Lendület-kutatócsoport vezetője arra mutat rá, hogy az elmúlt évtizedekben az elektronika szédületes fejlődésének lehettünk tanúi, ami teljesen átalakította mindennapjainkat. Az előadás áttekinti, hogy minek köszönhető ez a történetileg páratlan fejlődés, mekkorák a mai mobiltelefonok építőkövei, a tranzisztorok. Bemutatjuk, hogy a kvantummechanika ezen apró áramkörökben fontos szerepet játszik, ami lehetőséget teremt arra, hogy kvantumos elven működő áramköri elemeket hozzunk létre. Bemutatunk néhány áramköri geometriát, amelyek a jövőbeli kvantumszámítógépek alapvető építőkövei lehetnek.

Asbóth János, a BME Fizikai Intézetének docense, a Wigner Fizikai Kutatóközpont tudományos főmunkatársa „A ma és a holnap kvantumszámítógépei” címmel

tart előadást. Izgalmas időket élünk, hiszen néhány éve még csak sci-fibe illő ötlet volt a kvantumszámítógép, ma viszont már versengve építenek teljesen eltérő módon működő prototípusokat szerte a világon. Az az ígéret, hogy egy elég sok kvantumbiten elég pontosan számoló gép sok mindenben segíthet, a kódtöréstől a gyógyszerek kémiai modellezéséig. A mai prototípusoknak még túl kevés kvantumbitjük van ehhez, és főleg túl sok hibát ejtenek működésük közben. Az előadásban áttekintjük, milyen hardveres ötletek vannak, milyen hibák érintik a kvantumszámítógépeket, és hogyan tervezik (sárkány ellen sárkányfű mintájára) a kvantumhibák elleni védekezést a kvantumos összefonódás segítségével.

Kürti Jenő, az ELTE professor emeritusa „Mi tartja össze a molekulákat?” című előadása azzal a tudománytörténeti jelentőségű problémával, a kvantummechanika egyik első sikerével indul, hogy hogyan tud egyetlen elektron két protont stabilan összekötni az ionizált hidrogénmolekulában, ami a klasszikus fizika szerint lehetetlen lenne. A két legismertebb elsődleges kötéstípus, a kovalens és az ionos kötés értelmezése után az előadás külön kiemeli a szénatom kitüntetett szerepét a szerves molekulák esetében. Bemutatja a legfontosabb szén nanoszerkezeteket, a fulleréneket, a nanocsöveket és a grafént. Szó lesz a biológiailag is fontos makromolekulákról, a fehérjékről, a DNS-ről, kitérve a másodlagos kötéseket biztosító hidrogénhidkötésre.

A „Mit keres a kvantumfizika az orvostudományban?” című előadásban Fröhlich Georgina, az Országos Onkológiai Intézet munkatársa, az ELTE és a Semmelweis Egyetem oktatója a kvantumelmélet egyik fontos gyakorlati alkalmazásával, a diagnosztikában és a gyógyításban használt, nukleáris és sugárzásokon alapuló eljárásokkal foglalkozik. Ezekkel kapcsolatban sok érdekes kérdés merül fel. Mely képalkotó eszközök használnak ionizáló sugárzást, és melyeknek nincs hatása az emberi szervezetre? Hogyan lehet egy radioaktív izotópot egyszerre használni képalkotásra és terápiára? Mit vág a CyberKnife és a gamma-kés? Mi történik, ha eltalál bennünket egy foton? És ha egy proton? A radioaktív izotópokat végleg bent lehet hagyni az emberi testben? Egy kis barangolásra várjuk az érdeklődőket a fizika és a medicina határára. Betekintést nyerhetünk egy olyan kevésbé ismert szakterületbe, ahol a napi gyógyító munkában jelentős részt vállalnak a fizikusok is. Az orvosi fizika a különböző képalkotó technikáktól az ionizáló sugárzást használó terápiás megoldásokig sok mindent magába foglal. Megismerhetjük a legizgalmasabb sugárterápiás technikákat, szó esik a lineáris gyorsítóval végzett külső sugárkezelésről és a radioaktív izotóp emberi testbe juttatásával történő brachyterápiáról is.

A „Kvantumok között – utazás az elemi részecskék különleges világába” című előadásban Pásztor Gabriella, egy MTA–ELTE Lendület-kutatócsoport vezetője felfedi az anyag legmélyebb szintű összetevőit, és megértjük, hogyan hatnak egymásra ezek a rejtett kvantumos szereplők. Megvizsgáljuk a vákuum természetét, amely – távol a klasszikus értelemben vett ürességtől – szüntelenül forrong, és virtuális részecskék nyüzsgésével van tele. Rávilágítunk, hogyan ad tömeget a részecskéknek a mindent átható Higgs-mező, és miért különleges ebből a szempontból a neutrínó: az

a részecske, amely nemcsak alig észlelhető, de útközben képes „álarcot váltani”, és különböző formákban megjelenni előttünk. Utazásunk során bepillantást nyerünk a kvantumvilág lenyűgöző és gyakran meghökkentő törvényeibe, és ezzel együtt feltárul előttünk a valóság legmélyebb szerkezete. Az előadó röviden kitér a kísérletek szerepére is, amelyek segítségével közvetlenül vizsgálhatjuk ezeket a különleges kvantumjelenségeket.

Csanád Máté, az ELTE egyetemi tanára „A kvarkoktól a csillagokig” című előadása az atommagok fizikájának olyan kérdéseivel foglalkozik, mint: Honnan tudjuk, hogy az anyag atomokból áll? Mi alkotja az atommagot, és milyen erők tartják össze? Hogyan működnek a csillagok? Milyen lehetséges állapotai vannak az atommag anyagának? Az atommagok fizikája ezekre a kérdésekre is választ ad. Az atommag létét a 20. század elején ismerte fel az emberiség, és hamarosan kiderült, hogy működésének megmagyarázásához egy új részecskére (a neutronra) és egy új kölcsönhatásra (a magerőre) is szükség van. Mindennek megértése és kiaknázása sorsdöntő fejleményekkel járt a 20. században, főként a maghasadás felhasználása tekintetében. A 21. században immár a magfúzió gyakorlati megvalósításán a sor. Időközben az is kiderült, hogy az ősrobbanás utáni első milliomod másodpercben egyfajta olvadt maganyag töltötte ki a Világegyetemet. Az előadásban áttekintjük mindezeket a kérdéseket, a magfizika hétköznapi és kozmológiai jelentőségére is kitérve.

Fülöp Zsolt, a debreceni HUN-REN Atommagkutató Intézet (Atomki) kutatója a „Kvantumfizika a csillagokban: az elemek keletkezése” című előadásban a kvantumfizikai mikrovilág és a csillagok fejlődése, energiatermelésük, valamint az elemek keletkezése közötti kapcsolatot mutatja be. Az, hogy a Naphoz hasonló csillagok rendkívül hosszú életűek, a bennük lejátszódó atommagfizikai reakciókkal magyarázható. Ezen reakciók nemcsak a csillagokban lejátszódó stabil energiatermelésért felelősek, ami a földi élet kialakulásának egyik feltétele, hanem – a csillagok különböző életszakaszaiban – a minket felépítő kémiai elemek keletkezésének helyszínei is.

A sorozatot záró „Kvantumkorszakok az Univerzum történetében” című előadásban Dávid Gyula, az ELTE nyugdíjas, de valójában ma is aktív oktatója azzal foglalkozik, hogy mi köze lehet a kozmológiának – az általunk ismert legnagyobb anyagi struktúra, az Univerzum szerkezetével és történetével foglalkozó tudománynak – a legkisebb objektumok, az elemi részecskék tulajdonságaival és viselkedésével foglalkozó kvantumelmülethez. Einstein általános relativitáselmélete szerint a téridő geometriai tulajdonságait a benne mozgó anyag határozza meg. Ez az anyag jelenleg érdekes és izgalmas makroszkopikus struktúrákat alkot, ám ez nem volt (és nem lesz) mindig így: az anyag a Világegyetem történetének jelentős részében szervezetlenül, kvantumvilág mezők és elemi részecskék formájában volt jelen. Így az ezekre vonatkozó kvantumvilág törvények közvetlenül befolyásolták az anyag viselkedését, és ezzel az Univerzum dinamikáját. Az egymást követő kozmikus korszakokban különböző mezők és részecskék domináltak a Világegyetem anyagát, sőt éppen a domináns anyag alapján tudjuk megkülönböztetni ezeket a korszakokat. Bár ma még nem áll rendelkezésünkre

kezésünkre az általános relativitáselméletet és a kvantumelméletet egyesítő kvantumgravitációs teória, de a két elmélet jelenlegi állása alapján már részletes és koherens képet tudunk alkotni az Univerzum és alkotórészeinek történetéről – a nagy bumtól az értelemig és tovább.

Kísérleti bemutatók

A fizika lényegéhez hozzátartozik, hogy nemcsak előadásokat tartunk, hanem – ami az Akadémia székházában ritkaság – kísérleti bemutatókat is tervezünk, ezzel hozva közelebb a hallgatóságot a fizikához, illetve a fizikát a hallgatósághoz. A sokak számára a tévéből és a Kutatók Éjszakája rendezvénysorozatból ismert Härtlein Károly, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizikai Intézetének mesteroktatója, a fizikai ismeretterjesztés egyik kiemelkedő alakja két négyrészes sorozatban mutat be kísérleteket, megfelelő magyarázatokkal kísérve azokat. Az egyik sorozatot kora délután a középiskolás korosztálynak szánjuk, a másikat ugyanaznap a délután második felében a fizika iránt érdeklődő idősebb korosztálynak. A két sorozatban ugyanazok a témák kerülnek elő, ugyanazok a kísérletek kerülnek bemutatásra, csak a magyarázat szintjében és a téma megközelítésében lesz különbség. A középiskolásoknak szánt bemutatón elhangzó magyarázatok a jelenlegi NAT-hoz igazodnak, míg a másik valamivel érettebb, mélyebb, de nem egyetemi szintű ismereteket tételez majd fel.

Az előadások a fizikai megismerésnek azt az induktív módját követik, amellyel a megfigyelésből, a kísérletekből kiindulva jutunk el az elméletalkotásig. Az energia fogalma kimondatlanul is főszereplője lesz mindegyik előadásnak, amelyekben mechanikai, hőtani és elektromosságtani kísérletek után a klasszikus fizikával nem értelmezhető jelenségekre is sor kerül.

Az első előadás a mechanikával és a hullámtannal foglalkozik, Newton törvényeit és a hullámjelenségeket mutatjuk be kísérletekkel. A klasszikus mechanika területéről válogatott kísérletek célja megmutatni, hogy a fizika ismerete elengedhetetlen az élet minden területén, ha meg akarjuk érteni a jelenségeket.

A második előadás a hőtannal és annak energetikai vonatkozásaival foglalkozik. Bemutatjuk, hogy a terület ismerete miként vette le az emberiség válláról a fizikai munka gyötrelmeit, és hogyan forradalmasította a közlekedést a hőerőgépek segítségével. Az előadás rá fog mutatni arra, hogy hőtani ismereteink, azon belül a „hideg”, az alacsony hőmérsékletek előállításának képessége milyen mértékű társadalmi változásokat hoztak.

A harmadik előadás az elektromosságtan „csodáit” mutatja be. Kísérletekkel tisztelgünk Michael Faraday munkássága előtt, aki a 19. század első felében lerakta az elektromágnesesség alapjait. Ennek köszönhetően tovább bővültek ismereteink az energiáról. Az elektromos gépek megjelenésével tovább bővült a kör, ahol a fáradtságos munka alól felszabadultak az emberek. A felfedezéseknek köszönhetően egyre jobban megismertük azokat az anyagokat, amelyek jól vezetnek vagy jól szigetelnek az

elektromos áramot. Eközben a „közöttük álló” anyagok, például a félvezetők tanulmányozása olyan új kutatási irányokat, új tudományterületeket indított el, amelyek hatása és jelentősége a technológiai fejlődésben felbecsülhetetlen.

A negyedik előadásban olyan kísérleteket mutatunk be, amelyeket a klasszikus fizika nem tudott értelmezni. A prizma által létrehozott „szivárvány” sötét vonalaira, a színekép vonalas szerkezetére csak a kvantumelmélet ad magyarázatot. Ennél is izgalmasabb, hogy bár már Isaac Newton és Christiaan Huygens egymásnak ellentmondó állításokat fogalmazott meg a fényről, annak hullám- vagy korpuszkuláris természetéről, az interferenciajelenségekben megnyilvánuló hullámtermészet és a fotoeffektusban megjelenő részecsketermészet kettősségét csak a kvantumelmélet tudta feloldani.

Az űrkutatás napja

Részben a magas szintű ismeretterjesztés köréhez tartozik, de azon túl is mutat a Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) által a hónap végén, szeptember 29-én az Akadémia székházában rendezendő űrkutatás napja. Erre a több évtizedes múltra visszatekintő, az egyik legjelentősebb hazai űrkutatási szakmai fórumra és ismeretterjesztő eseményre minden évben a nemzetközi világűrhéthez (World Space Week, október 4–10.) kapcsolódva, ahhoz közeli időpontban kerül sor. A rendezvény találkozási lehetőséget nyújt azoknak a szakembereknek – felsőoktatási intézmények, kutatóintézetek, űripari vállalkozások, tudományos testületek, ismeretterjesztő szervezetek, szakfolyóiratok munkatársainak –, akik a hazai űrkutatásban, illetve annak népszerűsítésén dolgoznak. A programban a magyarországi űrtevékenység aktualitásait, érdekességeit bemutató előadások szerepelnek, amelyek a tágabb szakmai közösség mellett a téma iránt érdeklődő nagyközönségnek is szólnak.

2025-ben a világűr hét központi vezérfonala az élet a világűrben (Living in Space), így a hazai űrkutatás napja előadásai között ez kiemelt téma lesz. Annál inkább, mert az idei egészen különleges év a magyar űrkutatás történetében, hiszen négy évtized után újra magyar űrhajós dolgozott a Föld körüli pályán. Kapu Tibor a Nemzetközi Űrállomáson a HUNOR-program (Hungarian to Orbit – Magyar Űrhajós Program) keretében számos tudományos kísérletet hajtott végre. Az űrkutatás napjának résztvevői bizonyára megismerkedhetnek majd az ilyen kísérletekkel, s talán már előzetes eredményeikkel is. A fizikával kapcsolatos témájú kísérletek várhatóan kiemelt szerepet kapnak majd az előadások programjában.

Tudományos konferenciák

A fentiek mellett két tudományos konferenciára is sor kerül. Szeptember második hetében egy nemzetközi fúziós plazmafizikai konferenciának ad otthont az MTA felújított székháza. A konferencián a mágneses összetartású fúziós kutatások hő- és részecsketranszport kutatási területen elért legújabb elméleti és kísérleti eredménye-

iket mutatják be a területükön meghatározó tudósok. A konferencia része az EU–US Transzport Munkacsoport által szervezett, a fúziós szakterületen az elmúlt évtizedekben jelentős presztízt kivívott konferenciasorozatnak. A budapesti lesz a 29. alkalom. A Magyarországra most először látogató, négy napra tervezett konferencián az MTA több mint száz kutatót lát majd vendégül. A hazai szervezőknek külön öröm, hogy a meghívott előadók közé magyar kutatót is választott a nemzetközi programbizottság. Horváth László, aki jelenleg a Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL) munkatársa az USA-ban, a DIII-D tokamakon végzett kísérleti munkájának eredményeit mutatja majd be.

A konferencián a szóbeli előadások mellett poszterszekció is lesz. A szervezők kiemelt célja, hogy a fúzió releváns területein dolgozó hazai PhD- és akár MSC-hallgatók poszteren mutathassák be saját eredményeiket a nemzetközi közösségnek. A konferencia programpontjai között szerepel a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont Fúziós Plazmafizika Laboratórium kutatólaborjainak meglátogatása, ahol bemutathatjuk, hogyan vesz részt a hazai fúziós közösség az EUROfusion által koordinált európai fúziós programban, az ITER-kísérletben (International Thermonuclear Experimental Reactor, Nemzetközi Kísérleti Termionukleáris Reaktor) és a fúziós technológia fejlesztéseiben. A látogatás lehetőséget teremt új együttműködések kialakítására, mert bár a magyar kutatás teljesen integrált az európai fúziós programban, az amerikai együttműködések kialakítására ritkábban nyílik alkalom.

Az MTA200 programsorozat részeként megszervezett konferencia fontos része, hogy a szakértők mellett megszólítsa a szélesebb közönséget is. 2025. szeptember 12-én, péntek délután egy magyar nyelvű, nyilvános ismeretterjesztő előadás-sorozatot szervezünk. Az előadók között lesz Cziegler István, aki a York Egyetem tanára és az EU–US Transzport Munkacsoport európai elnöke, Horváth László, a konferencia meghívott előadója és Dunai Dániel, aki a mostani konferencia hazai főszervezője. A tervezett előadások tematikája hasonló, de nem azonos a 2024. évi Magyar Tudomány Ünnepe keretében bemutatott „Harmadik tűzgyújtás: a fúziós kutatások helyzete és magyar vonatkozásai” című előadás-sorozattal, amely azóta is elérhető az MTA felületein.

A másik szakmai, az MTA200 tiszteletére szervezett, a „QTech-Bp” nevet viselő konferenciára 2025. szeptember 22–25. között kerül sor az MTA székházában. Száz évvel ezelőtt a kvantummechanika első forradalma zajlott, amely teljes mértékben átformálta a fizikáról és az egész világról alkotott képünket. Napjainkat a kvantummechanika második forradalmának nevezik, ahol a kvantummechanikán alapuló technológiák kifejlesztésének és térnyerésének lehetünk tanúi. Kvantumos elveken működő új berendezések, korábbiaknál sokkal precízebb érzékelők, biztonságos kommunikációs csatornák és a mai szuperszámítógépekkel megoldhatatlan problémákat könnyen elvégző új gépek kifejlesztését ígérik. A Fizikai Tudományok Osztálya által szervezett nemzetközi konferencián a Kvantuminformatika Nemzeti Laboratórium kvantumtechnológiákkal foglalkozó fizikusközössége be tudja mutatni a nyilvánosságnak azokat az irányokat, ahol kutatásokat végeznek.

A konferencia mindennap plenáris előadásokkal fog indulni, ami regisztrációt követően ingyenesen elérhető lesz a nagyközönség számára is. A plenáris előadásokat a kvantumtechnológiák élenjáró nemzetközi kutatói fogják tartani, előadásaikban a saját kutatási eredményeik mellett bemutatva a terület átfogó trendjeit. A napok hátralévő részében négy workshop keretében folytatódik a program a szakterületek nemzetközi közösségének részvételével, lehetőséget teremtve a hazai kutatók fiatal generációjának, hogy megismerkedhessen a szakterületeket vezető kutatókkal. A négy workshop témája:

- i) A hibrid kvantumeszközök témájú szimpózium betekintést nyújt azon áttörő eredményekbe, amelyek lehetővé teszik, hogy topologikusan védett kvantumszámítógépek megalkotására alkalmas szupravezető rendszereket hozzunk létre a jövőben.
- ii) A spinqubit szimpózium a félvezető-alapú, elektronspinekre épülő kvantumbit-rendszerek területén elért legújabb eredményekre és kihívásokra fog fókuszálni.
- iii) Az atomok és kvantumos hibák szimpózium a hideg atomok, a ponthibákon alapuló kvantumos érzékelők és a kvantummechanikai szimulációk témájára fog koncentrálni.
- iv) A kvantumos számítások szimpózium a kvantumszámítógép-architektúrák modern kihívásait fogja tárgyalni, többek között a hibatűrés kérdését.

Debreceni és szegedi programok

A Budapesten, az Akadémia székházában rendezendő események mellett a fizikában jelentős hagyománnyal rendelkező két vidéki egyetemi városban, Debrecenben és Szegeden is lesznek az MTA200-hoz kapcsolódó, a fizikát érintő események. A debreceni Atommagkutató Intézet főépülete 2013 óta az Európai Fizikai Társaság (European Physical Society, EPS) által elismert fizikai történelmi emlékhely annak emlékére, hogy 1956 őszén abban az épületben folytatta Szalay Sándor és fiatal doktorandusza, Csikai Gyula, később szintén akadémikus, azokat a kísérleteket, amelyekkel közvetett bizonyítékot szolgáltatott a Wolfgang Pauli által 1930-ban megjósolt neutrínók létezésére. A Nagytemplom mögötti emlékparkban rendezendő poszterkiállításon, amely a debreceni tudományos élet történetét és legjelentősebb eredményeit mutatja be, természetesen szerepelni fog a Szalay–Csikai-féle neutrínókísérlet is. Emellett a Debreceni Akadémiai Bizottság szervezésében terveznek egy MTA200–QM100 ülősszakot, amelyen a modern kvantummechanika születéséről emlékeznek meg, bár erre valószínűleg nem szeptemberben kerül sor.

Szegeden a fizikával és csillagászzal kapcsolatos események már augusztus végén elkezdődnek. A hónap utolsó napjaiban a Szegedi Akadémiai Bizottság székházában megrendezendő „Szatmáry Károly Emlékkonferencia” programjain egykori kollégákkal és tanítványokkal emlékeznek a 2024-ben elhunyt professzorra, a szegedi

egyetemi csillagászképzés és a Szegedi Csillagvizsgáló alapítójára. A rendezvény során szó esik majd a Szegedi Tudományegyetemhez kötődő – a szegedi campus mellett a Bajai Csillagvizsgálóra épülő – csillagászati kutatás, oktatás és ismeretterjesztés múltjáról, jelenéről és jövőképéről. Emellett a résztvevők (köztük remélhetőleg egyetemi hallgatók és pályaválasztás előtt álló fiatalok) pedig rövid életpálya-ismereteket is hallhatnak az SZTE-n végzett, azóta az ország és a nagyvilág más neves intézményeibe került szakemberektől.

A Szegedi Csillagvizsgáló – amellet, hogy fontos szerepet tölt be az egyetemi oktatásban és a szakmai utánpótlás képzésében – immár bő három évtizede a dél-alföldi régió egyik legfontosabb tudományos ismeretterjesztő bázisa. A Csillagvizsgáló munkatársai a fizika hónapja során is izgalmas és közérthető ismeretterjesztő előadásokkal várják a látogatókat péntek esténként (nagyobb csoportokat előzetes bejelentkezés után akár más napokon is). Ezen változatos prezentációk a csillagászat legizgalmasabb területeit ölelik fel, mint például a Naprendszer kis és nagy égitestjeinek vizsgálata, az űrutazás jövője, az idegen világok felfedezése vagy éppen a fekete lyukak rejtélyes természete. Mindezekről csillagászok szakértő tolmácsolásában hallhatnak az érdeklődők, akik felmerülő csillagászati-űrutasítási kérdéseikre is válaszokat kaphatnak, derült idő esetén pedig távcsöves égi kalandozásban is részük lehet.

Szegeden hagyományosan erősek a lézerfizikával kapcsolatos kutatások. Ennek is szerepe volt abban, hogy a 2010-es években itt épült fel a lézerfizika egyik nagy nemzetközi központja, az extrém nagy intenzitású, attoszekundumos lézerimpulzusokat szolgáltató Extreme Light Infrastructure Attosecond Laser Pulse Source (ELI ALPS). Az SZTE TTIK Fizikai Intézete és az ELI ALPS Lézeres Kutatóintézet szoros együttműködésben több rendezvényt is szervez a hónap folyamán.

A szeptember első napján tartandó „Kvantumelektronika 2025 Szimpózium” egy régi hagyományt folytatva az optika, lézer-, atom- és molekulafizika, valamint plazmafizika hazai kutatóinak biztosít lehetőséget ismerkedésre, szakmai eszmecserére és együttműködések kialakítására. A program meghívott előadásokkal kezdődik, majd poszterszekcióval folytatódik, ahol senior és fiatal kutatók, PhD-hallgatók mutathatják be legújabb kutatási eredményeiket. A szimpóziumhoz az egyetemi hallgatóknak szánt, háromnapos „Fotonika Nyári Iskola” csatlakozik előadásokkal, az egyetemi laboratóriumok, valamint az ELI ALPS meglátogatásával. A hónap közepén pedig az „ELI ERIC University Day” meghívásos rendezvényre kerül sor, amely az egyetemek és az ELI közötti együttműködések fejlesztését szolgálja mind a kutatás, mind az oktatás területén.

Végül a hónap utolsó péntekén a szegedi fizikusok is csatlakoznak a Kutatók Éjszakája rendezvénysorozathoz. A fizika különböző területeihez kapcsolódó, színes programkínálat – többek között – a Szegedi Tudományegyetem, az SZTE 3D Központ, az ELI ALPS Lézeres Kutatóintézet és a HUN-REN Szegedi Biológiai Kutatóközpont munkatársainak közreműködésével valósul meg. A kutatók kicsik és nagyok számára is érthető módon szemléltetik majd például a különböző optikai jelenségek hátterét, a fehérjemolekulák számítógépes modellezését, a légköri aeroszolok hatásait és azok

vizsgálatát. Emellett mikroszkópon keresztül mutatják be a nanovilágot, ismertetik a lézeres neutronforrás fejlesztésének és alkalmazásainak hátterét, illetve betekintést adnak a lézeres anyagmegmunkálás és a 3D nyomtatás alkalmazásaiba. A legkisebbek pedig játékokon keresztül ismerhetik meg a fizika alaptörvényeit.

Természetesen a sokéves hagyományt követve a budapesti és debreceni fizikusok is aktívan részt vesznek a Kutatók Éjszakája programjaiban. Az Európai Unió kezdeményezésére 2005-ben indult rendezvénysorozat első évének hazai programjai a fizika nemzetközi évéhez kapcsolódva a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizikai Intézete köré szerveződtek. Azóta viszont az egész fizikusközösség részese ennek az eseménynek.

Reméljük, hogy a szigorúan a szakma képviselőinek szánt programok mellett kínált sok színes esemény közelebb hozza a fizika gyakran elvontnak vagy érthetetlennek tűnő jelenségeit a nagyközönséghez, és megismerteti azzal a számos friss eredménnyel, amelyek a mindennapok technológiai fejlődésének motorjai.

Szabados László képeslapgyűjteményéből



A kunhegyesi Zsigmond Ferenc Városi Könyvtár előtt a város két híres szülöttjének szobra áll: Zsigmond Ferenc (1883–1949) irodalomtörténész 1925-től az MTA levelező, 1942-től rendes tagja volt, Szegő Gábor (1895–1985) matematikust pedig az MTA 1965-ben választotta tiszteleti tagjává.
(A képeslap kiadója: Kunhegyes Város Polgármesteri Hivatala)

Forrás: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/16682/>



Balra és középen: Bonyhádi lovag Perczel Mór (1811–1899) honvédtábornok, az 1848–1849. évi szabadságharc egyik katonai vezetőjének szobra és sírja Bonyhádon az Ermel-Vojnits Mauzóleummal.
Jobbra: Vörösmarty Mihály (1800–1855) költő, író, ügyvéd, az MTA rendes tagjának (1830) szobra Bonyhádon. (Máté Réka fényképei)

Forrás: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/16680/>

TEMATIKUS ÖSSZEÁLLÍTÁS

Rendszerszintű különbségek férfi és női kutatók pályáivében: elemzések és ajánlások a hátrányok leküzdésére

Systemic Differences in the Career Paths of Male and Female Researchers: Analyses and Proposals to Overcome the Disadvantages

Vendégszerkesztő: Acsády Judit

Bevezető

Introduction

Acsády Judit

PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN Társadalomtudományi Kutatóközpont Szociológiai Intézet, Budapest
acsady.judit@tk.hu

A nők és a férfiak társadalmi helyzete, esélyei és érvényesülési lehetőségei közötti jellegzetes, rendszerszintű eltéréseket jól példázzák a tudomány világán belül a női és férfi kutatók pályáivében és az akadémiai pozícióik betöltésében megfigyelhető különbségek. A *Magyar Tudomány* hasábjain mintegy két évtizede rendszeresen visszatérő téma a tudományos teljesítményekben tapasztalható különbségek nemek által meghatározott mintázatainak vizsgálata. A nők hátrányának egyik leglátványosabb, az MTA testületében is megjelenő mozzanata az akadémikus nők roppant alacsony aránya mind a levelező, mind a rendes tagok között. A tudományos életutak alakulása egyre több kutatót foglalkoztat, akik az adatok többszintű elemzésével, interjúk vizsgálatokkal, kapcsolatrendszerek modellezésével és más módszerekkel a karrierívek nemek közötti különbségeinek feltérképezése mellett azok okait is megkísérlik feltárni. Az elemzéseket ezeken a fórumokon az MTA belső berkei érintő, célzott intézkedések bevezetését sürgető felvetések követték, amelyek segítségével növelhető lenne az akadémiai tagságon belül a női kutatók jelölésének és megválasztásának esélye.

A korábbi elemzésekhez és felvetésekhez kapcsolódva ez a jelenlegi tematikus összeállítás szorosan összefügg az MTA Nők a Kutatói Életpályán Elnöki Bizottsága tevékenységével. A 2017-ben megalapított testület ugyanis a női akadémikusok alacsony arányával összefüggő problémákra kíván megoldásokat találni, és egyben feladatának tekinti a kutatói és az egyetemi oktatói életpályát választó nők szakmai előmenetelét

támogató programok létrehozását. A Magyar Tudomány Ünnepe rendezvénysorozat részeként 2024. november 7-én a Bizottság által szervezett konferencia és kerekasztal témája a tudományos pálya és gyermekvállalás volt. Kurutzné Kovács Márta akadémikus az MTA Műszaki Tudományok Osztályának tagjaként volt a konferencia levezető elnöke és a kerekasztal moderátora. Itt ismertette a magyar akadémikusnők gyermekvállalásáról készült kimutatását, amelynek alapján megfogalmazta az összeállításunkban is szereplő, az MTA testülete felé tett ajánlásait, amelyek kompenzálni kívánják azt az időráfordítást, amelyet a gyermeket nevelők vállalnak, illetve azokat a termékenységgel kapcsolatos áldozatokat, amelyeket a kutatónők hoznak, és amelyek egyúttal megnehezítik az adott időszakban a szakmai előmenetelt segítő munkát.

Összeállításunk a felvetés ismertetése előtt két részletesebb tanulmányt közöl. Széles körű perspektívát kínál Toldy Andrea és szerzőtársai összehasonlító jellegű írása, amely a női és férfi kutatói esélyek és eredmények háttérét megvilágító hazai adatokat európai adatok kontextusában tekinti át. A központban itt is a gyermekvállalással összefüggő tényezők állnak. Részletesen kiemelik azokat az elveket, amelyek mentén magától értetődővé válik a nők tudományos életben való jelenlétének támogatása, és az egyes kutatói életutak sikerességét hátráltató tényezők enyhítésének szükségyszerűsége. A jó példák bemutatásával előrevetítik, hogy mind a férfi, mind a női kutatók esetében támogató intézkedésekkel méltányolható lehetne hazánkban is a jövőben a gyermeknevelésre fordított idő – mint ahogy ez már több országban gyakorlattá is vált.

A tudományos publikációk adatbázisa, a Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) elemzése alapján fogalmazza meg a Kaptay György és Palotás Árpád Bence által itt közölt publikáció azt a tételt, hogy a női kutatók tudományos eredményeinek a férfi kutatókhoz viszonyított „elmaradása” mögött az időbeli elcsúszás az egyik legfontosabb mozzanat. Statisztikai elemzésen alapuló kimutatásuk részletesen bemutatja a publikációs és hivatkozási adatok alapján a jellegzetességeket a pályáívekben, amelyek a családalapítási kor környékén törnek meg a női kutatók esetében. Elemzésükkel reményeik szerint szintén hozzájárulhatnak az ebből adódó hátrányok kompenzálását segítő intézkedések kidolgozásához az MTA testületén belül is.

A női kutatók helyzete Magyarországon
és az Európai Unióban
Javaslatok a pályázati kedvezményrendszer méltányosabbá tételére

The Situation of Women Researchers in Hungary
and the European Union
Proposals to Make the Grant Eligibility Extension Scheme Fairer

Toldy Andrea¹ – Lázár Zsófia² – Barta Veronika³ – Wilhelm Imola⁴ – Gselmann Eszter⁵ –
Vida Zsófia Viktória⁶ – Kovács Karolina Eszter⁷ – Solymosi Katalin⁸

¹ PhD, DSc, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Polimertechnika Tanszék, Budapest
atoldy@edu.bme.hu

² PhD, Semmelweis Egyetem Pulmonológiai Klinika, Budapest
lazar.zsofia@semmelweis.hu

³ PhD, HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet, Sopron
barta.veronika@epss.hun-ren.hu

⁴ PhD, HUN-REN Szegedi Biológiai Kutatóközpont Biofizikai Intézet, Szeged
wilhelm.imola@brc.hu

⁵ PhD, Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Matematikai Intézet, Debrecen
gselmann@science.unideb.hu

⁶ PhD, MTA Könyvtár és Információs Központ Tudáspolitikai és Tudományelemzési Osztály, Budapest
vida.zsofia@konyvtar.mta.hu

⁷ PhD, Debreceni Egyetem Bölcsészettudományi Kar Pszichológiai Intézet, Debrecen
kovacs.karolina@arts.unideb.hu

⁸ PhD, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Növénynszerveztani Tanszék, Budapest
katalin.solymosi@ttk.elte.hu

Összefoglalás

A közelmúltban publikált adatok szerint a kutatók és mérnökök között a nők aránya hazánkban a legalacsonyabb az Európai Unión belül. Az alulreprezentáltság mögött több tényező, így strukturális akadályok, a munka és a magánélet összeegyeztetésének nehézségei, valamint a pályázati rendszerek sajátosságai is meghúzódhatnak. A megfelelő támogatáshoz fontos megismerni a kutatók neméből és gyermekvállalással összefüggő helyzetéből fakadó nehézségeit, és objektíven feltérképezni ezeknek a karrierre gyakorolt hatását. A tanulmányban részletesen összehasonlítjuk a főbb európai és magyarországi pályázatok gyermekvállalásból és egyéb akadályoztatásból fakadó kiesések kompenzációjára vonatkozó kedvezményeit. Megállapítható, hogy az EU pályázati rendszereiben nagyjából egységes elveket követnek a korhatárkedvezmények alkalmazása kapcsán, míg a hazai rendszerben jelentős eltérések tapasztalhatók, és a szabályozás összességében szigorúbb, mint az európai pályázatoknál (például: European Research Council vagy Marie Skłodowska-Curie Action). A fentiek alapján javaslatokat fogalmazunk meg méltányosabb és a magyarországi családpolitikai és társadalmi keretekhez jobban illeszkedő támogatási rendszerek és lehetőségek kialakítására. Emellett bemutatunk olyan jó hazai és nemzetközi gyakorlatokat, amelyek elősegíthetik a női kutatók helyzetének javítását és a tudományos életben való aktívabb részvételét.

Abstract

According to recently published data, the proportion of women among researchers and engineers in Hungary is the lowest in the European Union. This under-representation may be due to a number of factors, including structural barriers, difficulties in reconciling work and private life, and the

specificities of the grant schemes. In order to ensure adequate support, it is important to understand the difficulties researchers face due to their gender and childbearing status and to objectively map the impact of these factors on their careers. The study provides a detailed comparison of the eligibility extensions of the main EU and Hungarian grant schemes to compensate for career breaks due to childbearing and other obstacles. It finds that while EU grant schemes follow broadly uniform principles in applying age limit extensions, the Hungarian scheme differs significantly and is generally stricter than EU schemes (e.g. European Research Council or Marie Skłodowska-Curie Action). Based on the above, we make recommendations for more equitable grant schemes and options that are better adapted to the Hungarian family policy and social framework. In addition, we will present national and international best practices that can help to improve the situation of women researchers and their more active participation in academic life.

Kulcsszavak: női kutatók alulreprezentáltsága, kutatói életpálya, esélyegyenlőség, diverzitás, pályázati kedvezményrendszerek

Keywords: under-representation of women researchers, research career path, equality of opportunity, diversity, grant eligibility extension schemes

Bevezetés

A 21. század komplex környezeti, társadalmi és technológiai kihívásainak megoldásához szükség van kutatókra és mérnökökre, ugyanakkor – főleg Európában és Észak-Amerikában – a kutatói pálya népszerűsége az elmúlt évtizedekben jelentősen csökkent. Ennek háttérében számos ok áll, például a határozott idejű szerződések által okozott létbizonytalanság, továbbá a relatíve alacsonynak számító bérek és a kiszámíthatatlannak tűnő, sokszor jelentős nemzetközi mobilitást igénylő életpálya. A K+F+I-szektorban tapasztalt munkaerőhiány megoldásának egyik lehetséges módja az érdeklődők, köztük kifejezetten a lányok bátorítása arra, hogy a tudományos és azon belül is elsősorban a STEM-területeken, azaz a természettudományok (Science), a műszaki (Technology) és a mérnöki (Engineering) tudományok, valamint a matematika (Mathematics) területén válasszanak pályát. Ahhoz ugyanakkor, hogy a nők hosszú távon a pályán tudjanak maradni, szükség van inspiráló női példákra, illetve a pályájuk során folyamatos mentorációra, az élethelyzetükből adódó kihívásokkal kapcsolatos támogatásra. Cikkünkben ezek közül elsősorban a gyermekvállalással összefüggő karriermegszakítás kompenzálási lehetőségeire összpontosítunk.

A női kutatók helyzete az Európai Unióban és Magyarországon

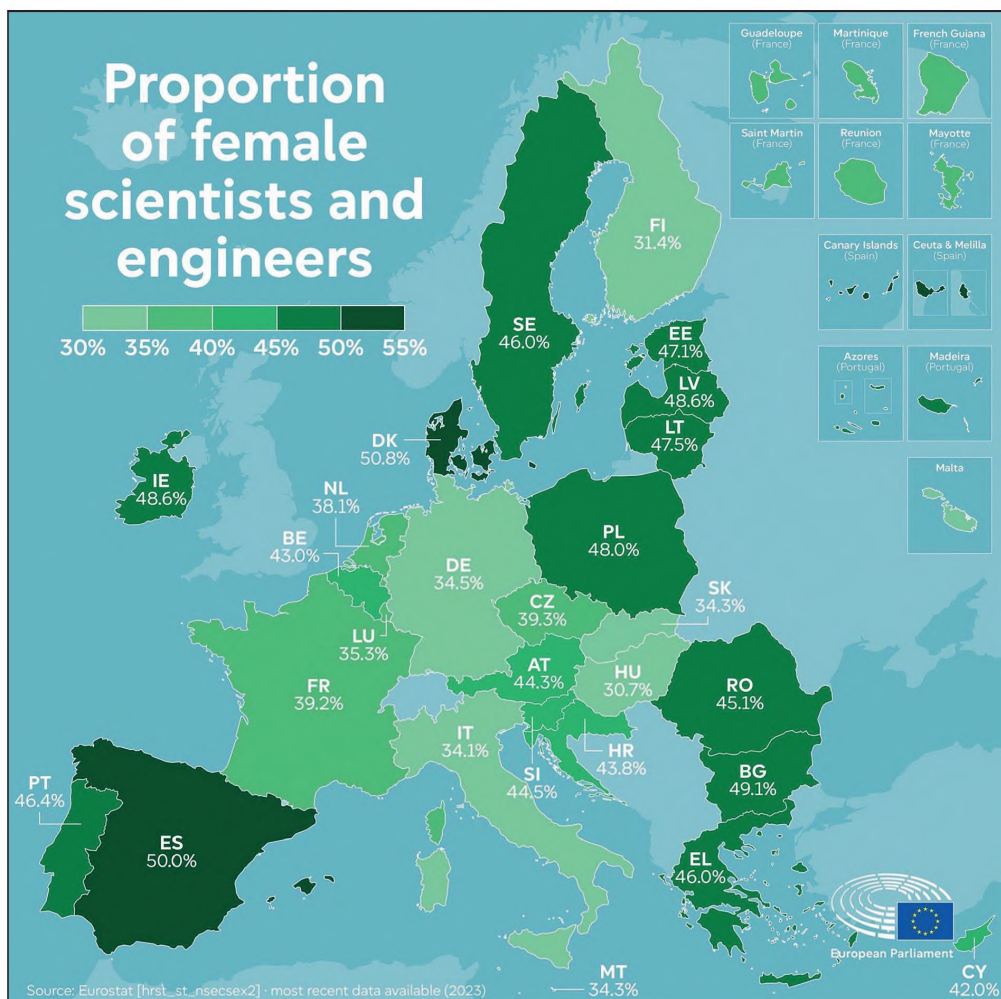
Az Európai Bizottság Kutatási és Innovációs Főigazgatósága által kiadott „She Figures” jelentés a 2003. évi első megjelenése óta az európai országok összehasonlítható statisztikái alapján értékeli a nemek közötti egyenlőséget a kutatás és az innováció területén. A kiadvány hat fejezetben követi nyomon a nők és a férfiak pályáját a doktori tanulmányok befejezésétől a munkaerőpiacra lépésen át a tudományos vezetői

és döntéshozói pozíciók eléréséig. Emellett vizsgálja a nemek közötti különbségeket a munkakörülmények és a kutatási eredmények tekintetében. A 2024. évi jelentésben („She Figures 2024: Gender...”; „She Figures 2024: Hungary”) bevezették a *She Figures Indexet*, amely az Európai Unió tagállamainak előrehaladását osztályozza a nemek közötti egyenlőség megvalósítása terén az Európai Kutatási Térségen belül hat kulcsfontosságú dimenzióban (szegregáció, kutatási ágazatok, karrier-előrehaladás, döntéshozatal, kutatási részvétel, valamint a nemi dimenzió beépítése a kutatási és innovációs tartalomba). Minden dimenziót, valamint az összesített eredményt is egy 0-tól 100 pontig terjedő skálán értékelnek, ahol a 100 pont a nemek közötti teljes egyenlőséget jelenti. A „She Figures 2024” adatai szerint az általános indexpontszámok 60 és 88 között mozognak az EU tagállamaiban. Magyarország összességében a 21. helyen szerepel 67,2 ponttal, viszonylag magas pontszámot elérve a nemi dimenzió kutatási és innovációs tartalomba történő beépítésében (9. hely), közepes eredményt a szegregáció terén (18. hely) és alacsonyabb pontszámokat a döntéshozatal (21. hely), a kutatási részvétel (22. hely), a kutatási ágazatok (24. hely) és a karrier-előrehaladás (21. hely) vonatkozásában.

Az Eurostat adatai szerint 2023-ban az Európai Unióban a tudomány és a technológia területén dolgozó 78,3 millió fő 52%-a nő volt, ám a kutatók és mérnökök között a nők aránya már csupán 41%-ot tett ki („Employed HRST...”). Az egyes országokra vonatkozó statisztikákat tekintve a női kutatók és mérnökök aránya Magyarországon a legalacsonyabb (30,7%), de Finnország (31,4%), Olaszország (34,1%), valamint Szlovákia és Málta (egyaránt 34,3%) vonatkozásában is hasonlóak az értékek. A női kutatók és mérnökök aránya Dániában a legmagasabb (50,8%) (1. ábra). A régiókat tekintve a legalacsonyabb arányt Közép-Magyarország (30,1%) és a Dunántúl (31,1%) régióban jegyezték fel, és hasonló százalékokat tudott felmutatni a német Baden-Württemberg (30,8%), a finn Manner-Suomi (31,4%) és az olasz Sud régió is (30,6%).

A „She Figures 2024” adatai szerint Magyarországon 2021-ben a kutatók mindössze 29%-a volt nő. Ezen belül a nők aránya a felsőoktatási szektorban 39%, a kormányzati szektorban 40% volt, az üzleti szektorban pedig még inkább alulreprezentáltak voltak a nők (19%), ezzel Magyarország mindhárom szektorban az EU-27 átlaga alatt teljesített. Bár Magyarországon a női kutatók és mérnökök aránya a teljes munkaerőpiacon 2013 és 2021 között 1,6%-ról 2,5%-ra nőtt, ez még mindig elmarad az EU-27 átlagától, ahol ugyanebben az időszakban 2,6%-ról 3,4%-ra emelkedett.

Magyarországon 2013 és 2021 között a doktori fokozatot megszerzők körében a nők aránya enyhé emelkedést mutatva 46,3%-ról 47,5%-ra nőtt, és ezzel megközelítette az EU-27 átlagát (47,6%), amivel az EU-ban a 20. helyen áll. Bár hazánkban a doktori képzésben végzettek majdnem fele nő, a női kutatók aránya a legmagasabb tudományos pozíciókban („Grade A” pozíciók, melyek a professzori, tudományos tanácsadói vagy kutatóprofesszori szintnek feleltethetők meg) 2013 és 2022 között 24,1%-ról 21,8%-ra csökkent, míg az EU-27-ben ugyanebben az időszakban 22,1%-ról 29,2%-ra nőtt. A „She Figures 2024” rámutat arra is, hogy 2014 és 2022 között a nők aránya a



1. ábra. Női kutatók és mérnökök aránya az Európai Unióban 2023-ban
 Forrás: „Employed HRST...”; „Communication of the European Parliament...”

hazai kutatóintézetek igazgatótanácsainak tagjai között 22,8%-ról 29,1%-ra nőtt, miközben az EU-27 átlag 28,0%-ról 37,7%-ra ugrott. Ezzel egy időben a nők aránya a kutatóintézetek vezetői pozícióiban 24,3%-ról 20%-ra csökkent, ami jelentősen elmarad az EU-27 átlagától (39,5%). A nők részvétele a felsőoktatási intézmények vezetői és döntéshozói pozícióiban szintén enyhén visszaesett. A felsőoktatási intézmények vezetői körében a nők aránya 2014-ben 16,7% volt, ami 2022-re 15,9%-ra csökkent, miközben az EU-27 átlaga 20,1%-ról 26,4%-ra emelkedett. A leírtak jól példázzák az úgynevezett „szívargó vezető” jelenséget (Paksi 2014), amely a tudományos pályán történő előrehaladás során az MTA doktora címmel rendelkezők, az MTA levelező és rendes tagjainak számában is hasonlóan megfigyelhető (Acsády-Gábor 2025).

Magyarországon 2017-ben a női és férfi kutatók kutatásfinanszírozási sikerességi arányában a különbség 6,5 százalékpont volt, ami 2022-re 4,5 százalékpontra csökkent, de még így is elmarad az EU-27 átlagától, ahol a különbség 3,0 százalékpontból 2,5 százalékpontra javult ugyanezen időszakban. 2018 és 2022 között Magyarországon a női szerzők átlagos aránya a publikációkban – valamennyi kutatási és fejlesztési területet figyelembe véve – 30,4%-ot tett ki, ami alacsonyabb az EU-27 33,7%-os átlagánál (21. hely). A nők különösen alulreprezentáltak a feltalálók között: ebben az időszakban a nők a szabadalmaknak mindössze 6,8%-át jegyezték, amivel Magyarország a 26. helyen áll az uniós tagállamok között.

A „She Figures” jelentés összefoglalva megállapítja, hogy hazánkban további erőfeszítések szükségesek a nők karrierlehetőségeinek javítása érdekében, különösen a felsőoktatásban és a vállalati szektorban, valamint vezetői és döntéshozói pozíciókban. Emellett biztosítani kell, hogy a kutatásfinanszírozási lehetőségek a nők számára is egyenlő mértékben legyenek hozzáférhetőek.

Miért kellenek nők a tudományba?

Felmerülhet a kérdés, hogy miért lenne jó a tudományos közösségnek és a társadalomnak – a férfiaknak –, ha kevesebb nő hagyná el a pályát, és esetleg többen jutnának feljebb a ranglétrán, így akár kevesebb férfinak helyet adva a tudományos elitben. A kérdés alapvetően jogos, de vajon helyes-e? Valóban a nők és a férfiak közötti harcról és érdekellentétről beszélünk? Vajon a tudomány előrehaladása szempontjából hosszú távon melyik az előnyösebb, a versengés vagy az együttműködés? A diverzitás vagy a diszkrimináció? Az inkluzivitás vagy az elszigetelés? Az esélyegyenlőség vagy a hátrányos megkülönböztetés? A perspektívák széles tára vagy a szűklátókörűség?

Tudományos kutatások azt mutatják, hogy a diverzitás megsokszorozza az összeadódó kreativitást (Baciu 2023), és a kettő között az együttműködés biztosítja az összeköttetést (Stolaki–Satratzemi–Xinogalos 2023). A nemi diverzitás a sokszínűség egyik alappillére, amely egy valóban befogadó és elfogadó környezetben serkenti a kollektív termelékenységet (Bear–Woolley 2011). A környezet szerepe mindenképp kiemelendő, hiszen az egyenlő esélyek biztosítása, a kölcsönös tisztelet és a teljesítmény elismerése mind olyan eszközök, amelyek nélkül a tudomány művelése csak a kiváltságosoknak adatik meg (Feldman 2023).

Mindezek alapján a „miért lenne fontos, hogy több nő maradjon a tudományos pályán” kérdés talán így hangzik helyesen: megengedhetjük-e magunknak, hogy tehetségeket veszítsünk el, és hogy ne használjuk ki a nőkben rejlő intellektuális kapacitást? A tudományos közösség és a társadalom számára sokrétű pozitív hatással bírna, ha több nő tudna hosszú távon a tudományos pályán maradni, mégpedig az alábbi előnyök miatt:

1. *Tudományos kiválóság növekedése* – Ha több tehetséges nő tudna hosszú távon a tudományos pályán maradni, az a teljes tudományos közösség szakmai szín-

vonalat emelné. A kutatás minősége és hatékonysága javul, ha a legjobb elmék nem esnek ki a rendszerből.

2. *Sokszínűbb megközelítések és innováció* – A változatos csapatok kreatívabb megoldásokat találnak, és több nézőpontot érvényesítenek. Ha a tudományos közeg nem veszítené el a női kutatókat, az új ötletek, kérdésfelvetések és kutatási módszerek sokrétűbbé válnának.
3. *Munkaterhek kiegyensúlyozása* – Ha a tudományos pálya kevésbé szorítaná és zárná ki a nőket, az hosszú távon enyhítené a férfiakra nehezedő elvárásokat is. A családi és munkahelyi szerepek kiegyensúlyozottabb eloszlása mindenki számára fenntarthatóbb életformát eredményezne.
4. *A tudományos közeg igazságosabbá és méltányosabbá válása* – Egy igazságosabb rendszer, ahol a tudományos teljesítmény alapján dölnék el a karrierutak, minden kutatónak, így a férfiaknak is kedvezőbb. Egy átláthatóbb, kevésbé hierarchikus vagy kirekesztő kutatási kultúra hosszú távon mindenki munkakörülményeit javítaná.
5. *Gazdasági és társadalmi előnyök* – A tudományos életpályák fenntarthatósága hozzájárul a gazdasági növekedéshez és a társadalmi stabilitáshoz. Ha a női kutatók többen maradnának a pályán, az nemcsak a tudományos teljesítményt, hanem az innovációt és a gazdasági versenyképességet is fokozná, amiből mindenki profitál.

A nők alulreprezentáltságának okai

A nők világszerte tapasztalható alulreprezentáltsága a tudományos pályán több tényezőre vezethető vissza (lásd például Sarseke 2018; Gselmann–Solymosi 2021; Avolio–Chávez–Vílchez–Román 2020; Kovács et al. 2025; Tardos–Paksi–Fáabri 2021). Számos tanulmány világított rá arra, hogy ezek közül az alábbiak a leginkább meghatározók:

1. *Társadalmi és kulturális normák*: A hagyományos nemi szerepek és sztereotípiák gyakran eltántorítják a lányokat attól, hogy a kutatásban, azon belül is elsősorban a STEM-területeken folytassanak tanulmányokat.
2. *Oktatási akadályok*: A lányok sokszor nem kapnak elegendő bátorítást és támogatást a STEM-tantárgyakban a pályaválasztásuk és a tanulmányaik során. Kevés a példakép és a mentor, az oktatási anyagok és módszerek pedig elfogultak.
3. *Munkahelyi környezet*: A tudományos pályán dolgozó nők gyakran szembesülnek nemi előítéletekkel, diszkriminációval, zaklatással és a munka–magánélet egyensúlyának hiányával. Ezek a tényezők megnehezítik a nők karrierjének előrehaladását.
4. *Strukturális akadályok*: Az „üvegplafon”, a „szivárgó csővezeték”, illetve a „ragacos padló” jelenségek azt a problémát írják le, hogy a nők kisebb eséllyel kerülnek magasabb pozíciókba, és nagyobb valószínűséggel hagyják el a

STEM-területeket karrierjük különböző szakaszaiban, illetve ragadnak meg társadalmilag és anyagiilag kevésbé megbecsült pozíciókban (Kovács 2025).

5. *Interszekcionalitás*: Azok a nők, akik egyszerre több marginalizált csoporthoz is tartoznak (például: színes bőrű nők, fogyatékkal élő nők), gyakran összetett diszkriminációval szembesülnek, ami még nehezebbé teszi számukra a tudományban való érvényesülést.

Beatrice Avolio, Jassmin Chávez és Claudia Vílchez-Román (2020) átfogóan elemzik a nők tudományos karrierjét befolyásoló, világszerte tapasztalható tényezőket. A szerzők 470, 1985 és 2018 között megjelent tudományos publikációt vizsgáltak meg. Tematikus elemzést alkalmazva azokat a kulcsfontosságú tényezőket azonosították, amelyek befolyásolják a nők hozzáférését, részvételét és előrehaladását a tudomány különböző területein. Ezeket a tényezőket öt fő csoportba sorolták:

1. *egyéni tényezők* (személyes tulajdonságok és önértékelés, amelyek hatással vannak arra, hogy a nők milyen karriert választanak, és kitartanak-e hosszú távon a tudományos pályán);
2. *családi tényezők* (családi támogatás, kötelezettségek és elvárások, amelyek elősegíthetik vagy akadályozhatják a nők tudományos karrierjét);
3. *társadalmi tényezők* (társadalmi normák, sztereotípiák és kulturális elvárások, amelyek alakítják a nők lehetőségeit és tapasztalatait a tudományos pályán);
4. *oktatási tényezők* (a minőségi oktatáshoz való hozzáférés, mentorálás és bátorítás például a STEM-tantárgyakban a tanulmányaik során);
5. *munkaerőpiaci és gazdasági tényezők* (munkahelyi környezet, irányelvek és gazdasági feltételek, amelyek befolyásolják a nők karrierjének előrehaladását és megtartásukat a tudományos pályán).

A tanulmány szerzőivel egyetértve hangsúlyozni szeretnénk ezen tényezők összetettségét és kölcsönös függőségét, nyomatékosítva a többoldalú megközelítés szükségességét a nők tudományos alulreprezentáltságának kezelésére.

Számos tanulmány jelent meg azzal kapcsolatban, hogy a nők alulreprezentáltságát a STEM- és egyéb területeken a különböző pályázatok és folyóiratok bírálói, illetve egyéb pályázatok (például határozott vagy határozatlan idejű kinevezések) bírálbizottságai által gyakorolt nemi diszkrimináció okozza (lásd például Severin et al. 2020). Más tanulmányok szerint viszont csak az újrapiályázás sikerében és az elnyert támogatási összegben van jelentős eltérés a férfiak javára, valamint abban, hogy a pályázásra jogosult nők egy része eleve nem is próbálkozik (Schmaling–Gallo 2023). Az adatok kontextus- és szakterületfüggőek, ilyen szempontból is fontos Diana R. Gallos és Alexander Coppock metaelemzésének végkövetkeztetése, mely szerint az alacsonyabb megbecsültségű tudományos állások interjúinál a nőket, a felelősségteljesebb vezetői pozíciók esetében pedig a férfiakat részesítették előnyben a felvételi bizottságok (Gallos–Coppock 2023). Stephen J. Ceci és Wendy M. Williams ugyanakkor

a matematikai szakterülettel összefüggésben vizsgált adatok tanulmányozása során arra a következtetésre jut, hogy a nők ugyanolyan jól teljesítenek a felvételi eljárásokban, a kutatásfinanszírozásban és a publikálásban, feltéve, hogy a rendelkezésre álló erőforrásaik volumene a férfiakéhoz hasonló (Ceci–Williams 2011).

A szerzők úgy látják, hogy az, hogy a nők jellemzően kisebb anyagi és erkölcsi megbecsülést kínáló pozíciókat töltenek be, nem kizárólag annak tulajdonítható, hogy a nőkkel hátrányosan bánnának az állásinterjúk, a pályázatok vagy a publikálás során. Az alulreprezentáltság elsődleges okai leginkább a családalapítással és a gyermekneveléssel, a nemi elvárásokkal és a karrierpreferenciákkal állnak szoros összefüggésben. Egy határozott idejű munkaszerződés például megköveteli, hogy a gyermeket nevelő nők legnagyobb szellemi hozzájárulásait a legnagyobb fizikai és érzelmi teljesítményeikkel egy időben tegyék le az asztalra, miközben mindezt a férfiaktól nem várják el. Amikor a nők úgy döntenek, hogy kilépnek a teljes munkaidős karrierből, hogy gyermeket neveljenek, az egy választás. Ezzel a választással ugyanakkor a férfiak csak igen ritka esetben szembesülnek. Amennyiben a nők választása szabad akaratukból történik, és elégedettek az adott döntés következményeivel, akkor minden rendben van. Ha azonban ezek a döntések bármilyen módon korlátozottak, és a nőket emiatt hátrány éri, vagy tehetségük nem bontakozhat ki kellőképpen, akkor az ilyen esetekre megoldásokat szükséges kidolgozni.

Fontos ugyanakkor kiemelni, hogy különösen a nagy kutatócsoportokat és jelentős anyagi és infrastrukturális háttérrel igénylő diszciplínák esetében a nők számára gyakran kevesebb erőforrás áll rendelkezésre (például laborterület – Wadman 2023). Emellett több szakterületen kimutatható, hogy a nők *ritkábban* szerzői tanulmányoknak (Ni et al. 2021), és kevesebb hivatkozást kapnak (Maliniak–Powers–Walter 2013; Chatterjee–Werner 2021), ezek a jelenségek pedig, összeadódva, csökkentik a nők pályázati sikerességét. Az erőforrások átcsoportosításával ezeket a problémákat nagyon sok esetben meg lehetne oldani, vagy legalábbis enyhíteni lehetne a nőkre nehezedő terheket.

A tudományos teljesítmény értékelése a pályázatok elbírálásánál is kiemelt szerepet kap. Fontos tehát megvizsgálni a teljesítmény két fő dimenziójának, a publikációs kibocsátásnak (publikációk, Q1-es cikkek száma) és az arra érkező hivatkozások számának (tudományos hatás) nemek és életkor szerinti különbségeit. A Fialat Kutatók Akadémiája (FKA) 2021-es felmérésében a kérdőívre érkező válaszok és a Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) adatai alapján többek között a tudományos teljesítmény e két fő dimenzióját is vizsgálta a magyarországi 45 év alatti kutatók körében (Németh et al. 2022). Míg a pálya elején hasonló volt a két nem publikációs teljesítménye, és az életkor előrehaladtával mindkét nemnél nőtt a publikációk száma, addig a 36–40 év közötti korosztályban szignifikáns különbség mutatkozott a gyermeket nevelő nők kárára. Az idézettséget vizsgálva a férfiak jobb hatásmutatókkal rendelkeztek, kivéve a legfiatalabb, 26–30 éves korcsoportban. A két nem közötti különbség 40 éves kort követően volt a legjelentősebb, melynek hátterében egyrészt a korábban (36–40 év között) a gyermekvállalás és -nevelés miatt meg nem írt cikkek későbbiekben mutatkozó hivatkozási deficitje, másrészt a tudományos előmenetel nemek közötti különbségei állhatnak. Ez az

eltérés a nyers és a szakterületre, MTA tudományos osztályra és publikáció megjelenési évére normalizált idézettségi mutatóknál is kimutatható volt (Németh et al. 2022; 2023). A fentiek bizonyítják, hogy a gyermekvállalás az életpálya bármely időszakában hatással van a pályára, mivel karriermegszakítással jár, aminek elhúzódó hatásai is vannak (például a hivatkozásdeficit révén). Ebből következően a gyermekvállalást figyelembe kell venni, függetlenül attól, hogy a PhD előtti vagy utáni időszakban történik, vagy hogy hány év telt el a gyermek születésének időpontja óta.

Azt is fontos kiemelni, hogy a kutatásértékelés sok esetben visszamenőlegesen adott időintervallumban (például „elmúlt 5 év”) kívánja a kutatók publikációs teljesítményét mérni és összehasonlítani. Karriermegszakítás esetén ezeket az időintervallumokat nehéz számszerűsíteni, mivel a hivatalosan gyermekneveléssel töltött időszak alatt is megjelenhetnek korábbi kutatással kapcsolatos eredményeket tárgyaló vagy egyéb társszerzős művek, esetleg szemlecikkek, ugyanakkor nemritkán éppen a visszatérést követő években tapasztalható visszaesés a publikálás terén, amikor újra kell indítani a tudományos kutatásokat, és időbe telik, amíg azok eredményei közölhetőek lesznek.

A női kutatók helyzetével és támogatásával foglalkozó tanulmányokban foglalkoznak olyan egyéb nehézségekkel, amelyek a nők biológiai adottságaival kapcsolatosak, és komoly problémát okozhatnak számukra pályájukon. Idetartozik a menstruációs egészség, amely jelentős szerepet játszik a nők általános jóllétében, és befolyásolhatja munkavégzésüket is (Hennegan et al. 2021). Minderről nagyon kevés szó esik a munkavállalók esetében, sőt még a menstruációval kapcsolatos kutatások is stigmatizáltak (Owen 2022). Szintén kevés szakirodalom tárgyalja a menopauza hatásait a női kutatók fizikai, kognitív és érzelmi jóllétére, pedig közismert, hogy a hőhullámok és a hangulatváltozások mellett a menopauza gyakran jár együtt olyan alvászavarokkal is, amelyek negatívan befolyásolhatják a napközbeni munkavégzést (Baker et al. 2018).

Mindkét nemet érintő probléma lehet a kutató hosszan tartó vagy krónikus betegsége, valamint az idős vagy egyéb hozzátartozó(k) ápolása, az egyedül nevelő szülői helyzet, de a fogyatékkal élő vagy tartósan beteg gyermekek gondozása is. Ez utóbbi ápolási feladatok a Magyarországhoz hasonló, tradicionális családdalmodellel rendelkező országokban jellemzően nagyrészt a nőkre hárulnak, és nagyon megnehezítik az ilyen élethelyzetbe kerülő nők megmaradását a kutatói pályán.

Üdvözlendő, hogy a gyermekvállaláshoz kapcsolódóan a gyermekneveléssel kapcsolatos feladatokat szinte minden hazai pályázatnál mind a nők, mind a férfiak esetében figyelembe veszik valamilyen mértékben (1. táblázat). Ugyanakkor számos, a nők biológiai adottságaiból fakadó nehezítő tényező méltánylásának szükségességéről még a párbeszéd sem indult el. A veszélyes munkahelyen dolgozó női kutatók például a terhesség kilenc hónapja alatt, a fejlődő magzat érdekében kénytelenek szüneteltetni a kutatómunkájukat (Brent 2009). Ugyanez, a gyermek egészsége érdekében szükséges önkorlátozás fennállhat a szülést követően hamar munkába álló női kutatók esetében is, illetve a több évig szoptató nőkre nézve a szoptatás teljes időtartama alatt. Nagyobb kutatócsoportok vagy megfelelő munkahelyi környezet esetében ezek a kutatást lassító vagy hátráltató nehézségek áthidalhatók; egyes külföldi pályázatok („Notice of Special Interest...”;

„Deutsche Forschungsgemeinschaft Family Leave”) ilyen helyzetekre kisegítő személyzet felvételét is lehetővé teszik a kísérletes munka elvégzése céljából. Mindez azonban pont az önálló kutatócsoportot alapító, kevésbé támogató közegben dolgozó női kutatók számára jelent komoly kihívást. A veszélyeztetett terhesség miatti korlátozott mobilitás és munkavégzés szintén okozhat a kutatói karrier szempontjából hátrányt és lemaradást.

Különböző becslések szerint a meddőség a szülőképes lakosság 9–15%-át sújtja (Boivin et al. 2007; Cox et al. 2022). Ezért a gyermekvállalás kapcsán egyre több női kutatót is érintenek a szervezet működését és a hormonális rendszert is megviselő, sokszor hosszadalmas asszisztált reprodukciós eljárások, nem beszélve a sikertelen terhességek vagy vetélések okozta fokozott lelki terhekről (Boivin–Griffiths–Venetis 2011). Ezen eljárások alatt szintén korlátozott a veszélyes munkakörökben való munkavégzés lehetősége, de még ennél is nagyobb problémát jelent, hogy a sikertelenül próbálkozó kutatók számára ezen időszakok karriermegszakításként való beszámítása nem megoldott.

Európai és hazai pályázati rendszerek kedvezményrendszerének összehasonlítása

Jelen fejezet célja, hogy összehasonlítsa a magyarországi és az európai kutatási pályázati rendszerekben alkalmazott kedvezményrendszereket, különös figyelmet fordítva a női kutatók helyzetére és a gyermekvállalás miatti karriermegszakítás kompenzációjára. A táblázatok segítségével bemutatjuk a pályázati korlátokat, a kedvezmények típusait, valamint az azokhoz kapcsolódó indokokat és halasztási lehetőségeket.

E fejezetben, így a táblázatokban is a PhD-fokozattal rendelkező kutatóknak szóló, hosszú futamidejű kiírásokra fókuszálunk, amelyeknek közös jellemzőjük, hogy tisztán kiválósági alapon működnek, minden évben megnyílnak, egymástól függetlenül pályázhatók, és esetükben releváns lehet a pályázók korhatárának kérdése. Németh Brigitta és szerzőtársai az MTMT adatai alapján kimutatták, hogy a családos női kutatók esetében a gyermekvállalás élethosszig tartó időkiesést és publikációs hátrányt generál a karrierjükben (Németh et al. 2022). Hartmann Bálint és szerzőtársai elemzései arról tanúskodnak, hogy a kutatói életpálya előrehaladtával egyre kisebb a női pályázók aránya: a fokozatszerzés időszakában ez 40%, a kutatócsoport-vezetői pályázatok esetében azonban az arányuk 20–25%-ra csökken (Hartmann et al. 2023). A felmérések alapján a nők jövedelemhátránya a 36–40 éves korcsoportnál széleseedik ki (Németh et al. 2022), s ezt többek között a kiemelt pályázatok esetén fennálló felső korhatárral indokolták (Hartmann et al. 2023). Üdvözlendő, hogy mostanra a legtöbb pályázati kiírásban megjelent az életkorra vonatkozó korhatárkedvezmény; az egyes hazai és külföldi pályázatok során alkalmazott korhatárkedvezményeket az 1. és 2. táblázatban részletezzük. A táblázatokat áttekintve megállapítható, hogy a hazai pályázati rendszerek jellemzően szigorúbb feltételeket szabnak a pályázatok kedvezményeinek igénybevételéhez, míg az európai pályázati rendszerek, így például az ERC (European Research Council) és az MSCA (Marie Skłodowska-Curie Actions) rugalmasabban kezelik a gyermekvállalást és más családi helyzetek figyelembevételét.

1. táblázat. Korhatárkezdvezményre vonatkozó adatok összefoglalása a főbb magyarországi kutatási pályázatok esetében

Pályázat (év)	Korhatár	Korkezdvezmény nőknek	Csak a PhD után született gyermekekre vonatkozik	Gyerme- kenként beszámítható időtartam	PhD előtt született gyermekek, illetve férfi kutatok esetében figyelembe vett korhatárkezdvezmény	Beadásnál egyéb korkezdvezmény időtartama	Nyertes pályázat esetében halasztási kérelemnél méltányossági tényező
NKKP Starting (2025) („Felhívás STARTING...”)	PhD-fokozat megszerzése vagy annak odaitélése kiírási évtől visszazá- mított 7. év jan. 1. utáni	Igen	Igen	2 év	A tudományos fokozatszerzést meg- előzően született gyermek esetében, illetve férfi igénylő tekintetében minden esetben igazolni szükséges a tudományos fokozatszerzést köve- zően gyermeke nevelésre igénybe vett távollét hosszát.	Egyéni elbírálás alapján (közeli hozzátartozója 90 napot meghaladó tartós betegsége esetén, igazolással) a kezdve- zmény igénybevétele re okot adó körülmény időtartamának megfelelő időtartamra.	Különös méltánylást érdemlő esetekben – például: gyer- mekgondozás, hosszabb betegség vagy külföldi ösztön- díj – lehetőség van a projekt szüneteltetésére, azonban a szüneteltetés(ek) összesített időtartama nem haladhatja meg a 24 hónapot.
MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj (2025) („Pályázat a Ma- gyar Tudományos Akadémia...” 2025)	45 év	Igen	Nem	2 év (de csak a még kiskorú gyermek/ek után jár)	A kiskorú gyermeket nevelő kutatók esetében a pályázati korhatár gyerme- kenként két évvel megemelkedik, ha a pályázat benyújtását megelőzően a kutató a családok támogatásáról szóló 1998. évi LXXXIV. törvény szerinti gyermekgondozási támogatásban részesült, vagy a gyermek gondozása céljából a kötelező egészségbiztosítás ellátásairól szóló 1997. évi LXXXIII. törvény szerinti egészségbiztosítási pénzbeli ellátásban részesült, ide nem értve a táppénzt.	Nem jelenik meg a pályázati kiírásban.	Nem jelenik meg a pályázati kiírásban.

Lendület Induló (2025) („A Lendület Program...” 2024)	40 évnél fiatalabb (kírás éve – 40 év január 1. után születt), továbbá PhD-fokozatát a kírás éve – 10. év január 1. után, de kírás éve – 4. év december 31. előtt szerezte meg	Igen	Nem	2 év vagy a tudományos fokozatszerzést követően gyermeknevelési céllal igénybe vett távollétek hossza (ha az több, mint 2 év)	A férfiak esetében a gyermeknevelésre igénybe vett távollétek hossza.	Nem jelenik meg a pályázati kiírásban.	Nem jelenik meg a pályázati kiírásban.
HUN-REN Támogatott Kutatócsoportok Programja (2024) („HUN-REN Támogatott Kutatócsoportok...”)	A PhD-/DLA-fokozatszerzés vagy annak odaítélése legfeljebb a pályázati időszak kezdetétől számított 20 évvel korábban történt	Igen	Igen	2 év	A tudományos fokozatszerzést megelőzően született gyermek esetében, illetve férfi igénylő tekintetében minden esetben igazolni szükséges a tudományos fokozatszerzést követően gyermeknevelésre igénybe vett távollét hosszát, amelyből gyermekenként legfeljebb 2 év vehető figyelembe.	Nem – egyéni elbírálás alapján további kedvezmény megállapítására nincs mód.	Nem jelenik meg a pályázati kiírásban.

Forrás: saját szerkesztés

2. táblázat. Korhatárkezdményre vonatkozó adatok összefoglalása a főbb európai pályázatok esetében

Pályázat	Korhatár	Korkezdvezmény nőknek	Csak a PhD után született gyermekekre vonatkozik	Gyerme- kenkénti beszámítható időtartam	PhD előtti gyermekek, illetve férfi kutatók esetében figyelembe vett korhatárkezdmény	Beadásnál egyéb korkezdvezmény és időtartama	Nyertes pályázat esetében halasztási kérelemnél mértányossági tényező
ERC Starting Grants (2025) („ERC Starting Grants”; „ERC Grants”)	2-7 évvel a PhD-védést követően	Igen	Nem	18 hónap vagy a szülési szabadság pontos időtartama (attól füg- gően, hogy melyik a hosszabb)	Ha a pályázó hosszabb szülési szabadságot tud igazolni, a jogosultsági időszak meghosszabbodik a pályázat határideje előtt igénybe vett, dokumentált, tényleges szülési szabadságok összességével az összes gyermek vonatkozásában. Az apák esetében a pályázat határideje előtt igénybe vett apasági szabadság (igazolt) időtartamával szintén meghosszabbodik a jogosultsági időszak.	A jogosultsági időszakot az alábbi okokból lehet meghosszabbítani: szülési szabadság, apasági szabadság, betegség, sorkatonai szolgálat, képzés, természeti katasztrófa, menedékjog. Tartós betegség, sorkatonai szolgálat, fogvatartósság; a jogosultsági időszak meghosszabbodik a vezető kutató által az első PhD-fokozata sikeres megvédését megelőzően igénybe vett távollét igazolt hosszával.	Nem jelenik meg a pályázati kírásban.

ERC Consolidator Grants (2025) („ERC Consolidator Grants”)	7–12 évvel a PhD-védést követően	Igen	Nem	18 hónap vagy a szülési szabadság pontos időtartama (attól füg- gően, hogy melyik a hosszabb)	Ha a pályázó hosszabb szülési sza- badságot tud igazolni, a jogosultsági időszak meghosszabbodik a pályázat határideje előtt igénybe vett, doku- mentált, tényleges szülési szabadságok összességével az összes gyermek vonat- kozásában. Az apák esetében a pályázat határideje előtt igénybe vett apasági szabadság (igazolt) időtartamával szintén meghosszabbodik a jogosult- sági időszak.	A jogosultsági időszakot az alábbi okokból lehet meghosszabbítani: szülési szabadság, apasági szabadság, betegség, sorkatonai szolgálat, képzés, természeti katasztrófa, menedékjog. Tartós betegség, sorkatonai szolgálat, fogyatékossg; a jogosultsági időszak meghosszabbodik a vezető kutató által az első PhD-fokozata sikeres megvédését megelőzően igénybe vett távollét igazolt hosszával.	Nem jelenik meg a pályázati kírársban.
Marie Skłodowska- Curie Actions – Postdoctoral Fellowships (PF) (2024) („MSCA Post- doctoral Fel- lowships...”)	Maximum 8 évvel a(z első) doktori fokozat odátétését követően	Igen	Igen	18 hónap vagy a szülési szabadság pontos időtartama (attól függően, hogy melyik a hosszabb)	Az apasági szabadság pontos időtartama a PhD megszerzése után született összes gyerekre nézve beszámítható.	– kötelező sorkatonai szolgálat; – nem a kutatói pályán töltött idő; – tartós betegszabadság (30 napnál hosszabb időszakok)	Nem jelenik meg a pályázati kírársban.

Forrás: saját szerkesztés

Az ERC-pályázatok esetében a pályázat határideje előtt született minden gyermekre nézve érvényes a 18 hónapnyi (vagy ha hosszabb időt voltak igazoltan távol, akkor a teljes időszaknyi) korkedvezmény a női kutatóknak, a férfiak esetében pedig az igazolt apasági szabadság időtartamával hosszabbodik meg a jogosultsági időszak. Ezzel szemben a hazai Nemzeti Kutatási Kiválósági Program (NKKP) Starting és a HUN-REN Támogatott Kutatócsoportok Programja pályázatok esetében csak a PhD-fokozat megszerzése után született gyermekeket lehet figyelembe venni, és csak maximum két év korkedvezmény igényelhető gyermekenként. Az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj esetében csak a pályázat beadásának időpontjában még kiskorú gyermekeket veszik figyelembe a korkedvezmény megállapítása során, és őket is csak kétévnyi kompenzációs időszakkal és kizárólag a női kutatók vonatkozásában. Nagy eltérés mutatkozik a hazai és az európai pályázatok között a korkedvezmény megállapításánál figyelembe vehető, egyéb méltányolandó tényezők esetében is. Pozitív példa, hogy az NKKP Starting pályázat kiírásában megjelenik, hogy további korkedvezmény vehető tekintetbe egyéni elbírálás alapján (például közeli hozzátartozó 90 napot meghaladó tartós betegsége esetén) a kedvezmény igénybevételére okot adó, igazolt körülmény időtartamának megfelelő mértékben. Ugyanakkor a Bolyai- és a Lendület Induló pályázatok kiírásában erre nem térnek ki, a HUN-REN Támogatott Kutatócsoportok Programja esetében pedig egyértelműen az szerepel, hogy egyéni elbírálás alapján további kedvezmény megítélésére nincs mód. Ezzel szemben az európai pályázatok kiírásában részletesen taglalják, hogy milyen körülményeket vesznek még figyelembe a korkedvezmények igénylése során (lásd 2. táblázat).

A családtervezés szempontjából a női kutatók számára különösen hasznos lenne, ha a pályázati kiírásokban az is megjelenne, hogy nyertes pályázat esetében milyen méltányolandó tényezőket vesznek figyelembe szüneteltetés kérvényezésekor. Jelenleg erre itthon egyedül az NKKP Starting pályázat kiírásában látunk példát, a többi pályázatnál ez nem jelenik meg. További fontos észrevétel, hogy míg az NKKP Starting pályázatban a vezető kutatóra érvényes a korhatárkedvezmény, a pályázatban (és a többi NKKP-pályázatban) részt vevő és alkalmazandó fiatal kutatókra vonatkozóan már nem vesznek figyelembe a gyermekvállalással kapcsolatos korkedvezményt (ők csak hét évnél nem régebben szerzett PhD-fokozat esetén számítanak fiatal kutatónak, gyermekvállalástól függetlenül).

Kiemelkedően fontosnak és követendőnek tartjuk azt a pozitív változást, hogy az ERC mintáját átvéve több hazai pályázat esetében is lehetőség nyílik arra, hogy férfi kutatók a gyermeknevelési célú karriermegszakításukat igazolva korhatárkedvezményt igényelhessenek. Hiszünk benne, hogy az ehhez hasonló intézkedések elősegítik a gondoskodási feladatok kiegyensúlyozottabb megosztását a nemek között, valamint hogy hosszú távon hozzájárulnak az ezzel kapcsolatos társadalmi szemléletváltáshoz is. Ezen tanulmány keretein belül nem elemezzük részletesen, de fontos kiemelni, hogy a gyermekvállalással kapcsolatos kedvezmények – a körülmények megfelelő mérlegelése mellett – az örökbefogadott gyermekek után is kellene, hogy járjanak.

Javasolt intézkedések és jó gyakorlatok

Ebben a fejezetben javaslatokat fogalmazunk meg a magyarországi pályázati rendszer igazságosabbá tételére, hogy a gyermekvállalással és egyéb személyes nehézségekkel küzdő kutatók számára méltányosabb lehetőségek legyenek elérhetőek. A javaslatok a korhatárkedvezmények és a pályázati rendszerek reformjára összpontosítanak. Ezenkívül bemutatjuk a sikeresen alkalmazott nemzetközi és hazai jó gyakorlatokat, amelyek segíthetik a magyar kutatói közösséget a fejlődésben.

A hazai pályázati rendszerek hatékonyabbá és méltányosabbá tétele érdekében az alábbi módosításokat javasoljuk, amelyek figyelembe veszik a kutatói életpályát érintő különböző kihívásokat és nemzetközi jó gyakorlatokat:

- *A pályázatoknál alkalmazott korhatárkedvezmény az életkorra és a PhD megszerzése óta eltelt időre egyaránt vonatkozzon.*

Amennyiben egy pályázatnál az életkorra és a PhD megszerzése óta eltelt időre is előírások vannak, úgy javasoljuk, hogy mindkét esetben legyen érvényes a karrierszünet miatti karkedvezmény.

- *A karkedvezmény a 18 év feletti gyermek után is érvényesüljön.*

A gyermekvállalás az életpálya bármely szakaszában pályamegszakítással és gondoskodási többletfeladatokkal jár, amelynek hatásai – például a karrierszünet miatt elmaradt publikációk és az ebből fakadó hivatkozásdeficit – hosszú távon is fennmaradnak, ezért a karkedvezménynek függetlennek kell lennie a gyermek életkorától.

- *A karkedvezmény ne csak a PhD megszerzése után született gyermekekre vonatkozzon.*

A gyermekgondozás terhei nem szűnnek meg a PhD megszerzésével, és a karrierszünet miatt elmaradt publikációk, valamint az ebből fakadó hivatkozásdeficit hosszú távon is hátrányt jelenthet, ezért a karkedvezménynek függetlennek kell lennie attól, hogy a gyermek a PhD előtt vagy után született, ahogyan ezt az ERC gyakorlata is tükrözi.

- *A férfiaknál is minden esetben számítsák be az igazoltan gyermekgondozással töltött időszakot.*

A gyermeknevelési célú karriermegszakítás az apákat is ugyanúgy hátrányosan érinti tudományos előrehaladásukban. Fontos, hogy ez legyen teljesen egyértelműen és méltányosan elismerve számukra is. Ez elősegíti a hosszú távú társadalmi változást, és ösztönzi a férfiak aktívabb részvételét a gyermeknevelésben.

- *Vegyenek figyelembe egyéb akadályozó tényezőket is a karkedvezmény megállapításánál a férfiak és a nők esetében egyaránt.*

Mint azt a nemzetközi példák (például ERC) is mutatják, a gyermeknevelésen túl egyéb objektív akadályoztatási tényezők – például tartós betegség, asszisztált reprodukciós eljárások, veszélyeztetett terhesség, a magzatot vagy gyermeket is veszélyeztető veszélyes munkakörnyezet miatti kiesés, fogyatékos vagy tartós

beteg gyermek gondozása, idős hozzátartozó ápolása – is indokolják a karrierszünetek figyelembevételét. Javasoljuk, hogy a kutatók önbevallással jelezhessék ezeket, megfelelő adatvédelmi szabályok betartása mellett.

- *Minden korhatáros pályázat vagy korhatárhoz kötött foglalkoztatás vonatkozásában is legyen érvényes a karkedvezmény karrierszünetek esetén.*

Minden hasonló esetben, így az NKKP-pályázatoknál a pályázatra felveendő fiatal kutatóra vonatkozó korhatár (például PhD + 7 év) esetén is érvényesíthető legyen a karrierszünet után járó korhatárkedvezmény. A jelenlegi szabályozás hátrányosan érinti azokat a kutatókat, akik a PhD megszerzése után vállalnak gyermeket, mivel esetükben jelentősen leszűkül az az időablak, amikor fiatal kutatóként alkalmazhatók, több gyermek esetén pedig akár teljesen ellehetetlenülhet az alkalmazásuk.

- *A karrierszünet kerüijön beszámításra tudománymetriai értékelés és egyéb teljesítményértékelések során.*

Javasoljuk, hogy az elmúlt öt év publikációira vonatkozó időablakot növeljék meg a karrierszünetekkel. Emellett fontos, hogy a kutató első publikációjának megjelenési évétől számított, úgynevezett publikációs kort gyermekenként két évvel vagy ha az annál több, akkor a ténylegesen ebből az okból kifolyólag karrierszüneten töltött idővel csökkentse (nemcsak a gyermekek tízéves koráig, hanem a teljes életpálya során), mert az elmaradt publikációk hiánya és az ebből fakadó hivatkozásdeficit hosszú távon is fennmarad.

- *A kutatásértékelés kvalitatív elemzésen és méltányosságon alapuljon.*

A globális és európai kutatásértékelési reformfolyamatokkal összhangban lényeges, hogy az értékelés vegye figyelembe az egyéni életutak sajátosságait, és elsősorban a tudományos teljesítmény minőségére koncentráljon, a döntések során a kvantitatív mutatókat pedig csak megfelelő körütekintéssel használja (Balla-Solymosi–Csuka 2024). Lényeges továbbá, hogy a kutatói karrierértékelés ne csak a publikációk számát és idézettségét vegye figyelembe, hanem a szélesebb tudományos hatásokat is, például mentorálást, oktatást és tudománypolitikai szerepvállalást. Különösen fontos, hogy a gyermeknevelés után visszatérő női kutatóknál vegyék figyelembe a karriermegszakítás elhúzódó hatását, és az első évek során ne a cikkek mennyiségét, hanem minőségét értékeljék.

- *Vezessenek be Magyarországon az ERC-nél létező Consolidator-szinttel azonos pályázati formát.*

Ez az NKKP pályázati rendszerébe illeszthető köztes támogatási forma segítene a kutatók középső karrierszakaszának stabilizálásában, az utánpótlás-nevelésben és a sikeres vezető kutatóvá válás elősegítésében is. Egyben előmozdíthatná, hogy a karrierpálya felsőbb szintjeire több nő tudjon sikeresen továbblépni.

- *Hozzanak létre a karrierszünet utáni visszatérést segítő pályázatokat.*

Fontos lenne olyan pályázati forma kialakítása, amely kifejezetten a hosszabb karrierszünet után visszatérő kutatóknak nyújt támogatást a kutatási tevékenységük újraindításához és önálló kutatócsoport alapításához. Ennek révén hozzá-

járulhat a pályaelhagyók számának csökkentéséhez, a szivárgó vezeték jelenségének mérsékléséhez és a (csoport)vezető női kutatók számának növekedéséhez. Szintén fontos lehet olyan új pályázatok létrehozása vagy a meglévő pályázati rendszerekbe olyan lehetőségek beépítése, amelyek segítik a gyermeket vállaló vagy kisgyermekes kutatók munkájának folytonosságát. Ilyen lehet például a kutatás folytonosságának biztosítása céljából technikai segítő személyzet alkalmazása a terhesség, szülési szabadság vagy szoptatás időszaka alatt. De hasonlóan hasznosak lehetnek a kisgyermekes kutatók konferenciárésztételét, családdal való utazását, (részleges) gyermekfelügyeletét vagy oktatási terheit csökkentő megoldások.

- *A kiírások tartalmazzanak információt arról, hogy a nyertesek milyen indokkal és mennyi időre függeszthetik fel a pályázatuk megvalósítását.*

A kutatók családtervezése és a női kutatók pályázati arányának növelése szempontjából fontos lenne már a pályázati kiírásokban ismertetni, hogy milyen szabályok vonatkoznak azokra, akik a pályázat megvalósításának ideje alatt gyermeket vállalnak, vagy egyéb okból szüneteltetni kénytelenek a pályázatuk megvalósítását.

- *Pályázati statisztikák és transzparencia: minden pályázat esetében legyen közzétéve a női és férfi pályázók, valamint a nyertesek nemi aránya.*

Az adatok nyilvánossá tétele segítené a pályázati rendszer átláthatóságát, lehetőséget adna az esetleges egyenlőtlenségek azonosítására, és alapot teremtené célzott szakpolitikai beavatkozásokhoz.

Végezetül az alábbiakban ismertetünk néhány női és egyéb esélyegyenlőséget támogató hazai és nemzetközi jó gyakorlatot. A hazai pályázatokban már érvényben lévő kordedvezmények (1. táblázat) mellett az elmúlt években több előremutató hazai kezdeményezés is megvalósult:

- *Karrierszünet rögzítésének lehetősége publikációs adatbázisokban.*

A Fiatal Kutatók Akadémiája kezdeményezésére, Toldy Andrea és Solymosi Katalin előterjesztése alapján az MTMT irányító testületei megtárgyalták a tudományos pálya hosszát befolyásoló karriermegszakítási időszakok MTMT-ben való rögzítésének lehetőségét. A döntés értelmében 2024 júliusa óta a gyermekvállalással összefüggő karriermegszakítási időszakok hossza és a gyermekek száma felvihető az MTMT-be. Az adatokat a kutatók a saját szerzői adatlapjukon adhatják meg, és egyértelműen hozzájárulnak, hogy ezen információk megjelenjenek az MTMT nyilvános szerzői adatlapján, valamint lekérdezhetők legyenek az MTMT nyilvános API (alkalmazásprogramozási) felületén.

- *Dedikált pályázati lehetőségek az MTA doktora cím megszerzésének és a kutatási eredmények publikálásának elősegítésére kisgyermekes kutatók számára.*

A Magyar Tudományos Akadémia elkötelezett a fiatal kutatók támogatása és a tudományos esélyegyenlőség előmozdítása iránt. Ennek érdekében 2018-ban

olyan pályázatot hirdetett meg, amely a 14 év alatti gyermeket nevelő női kutatók és gyermeküket egyedül nevelő kutatók számára biztosít támogatást az MTA doktora cím megszerzéséhez szükséges értekezés megírásához. Az első két sikeres pályázati időszak után a pályázati lehetőséget kiterjesztették a fogyatékkal élő vagy tartósan beteg gyermeket nevelő kutatókra is, valamint a szülési szabadságon lévő vagy onnan nemrég visszatért kutatók kutatási eredményei publikálásának támogatására. A pályázat feltétele az MTA köztestületi tagság és a PhD-fokozat megléte, de a pályázónak még nem lehet MTA doktora címe vagy elbírálás alatt álló vonatkozó kérelme. A támogatás háromtól tizenkét hónapig terjedő időtartamra igényelhető.

- *Karrierfigyelés és ösztönzés az MTA doktora cím megszerzésére.*

Sok kutató, különösen a nők körében, önbizalomhiány miatt vagy az esetleges elutasítástól és negatív véleményektől tartva nem nyújtja be az MTA-doktori értekezését még akkor sem, ha többszörösen teljesíti a minimumkövetelményeket. Vannak olyan MTA-osztályok és bizottságok, ahol figyelemmel kísérik a köztestületi tagok pályafutását, és ösztönzik őket az MTA-doktori értekezés benyújtására. Pozitív lépés lenne, ha ez a fajta mentorálás szélesebb körben elterjedne. Ez az alulról építkező támogatási rendszer hozzájárulhat a női MTA-doktorok számának növekedéséhez, amely hosszú távon a köztestületi tagok nemi arányához közelítve szélesítheti a női akadémikusok kiválasztási körét, ezáltal természetes módon javítva a nemek közötti egyensúlyt a tudományos élet felső szintjein is.

- *Gyermekfelügyelet biztosítása szakmai programok és konferenciák alatt.*

Az FKA indulásától fogva hangsúlyt fektetett arra, hogy nyilvános jelenléti programjai alatt, előzetes igényfelmérés alapján, megfelelő keretek között gyermekfelügyeletet biztosítson a résztvevők számára. Hasonlóan előremutató és a kisgyermekes kutatók tudományos munkájának folytonosságát segítő kezdeményezés a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem családbarát közösségi terének létrehozása, ahol hallgatók és oktatók gyermekeinek felügyelete oldható meg a szülők szakmai programokon vagy munkában való részvétele alatt.

- *Nemek közötti egyenlőségi tervek kidolgozása és megvalósítása.*

A hazai intézmények esetében jelentős fordulópontot jelentett ezen a területen a Horizont Európa esélyegyenlőségi feltételeinek megerősítése: az uniós jogszabályok értelmében csak azok a kutatási és felsőoktatási intézmények pályázhatnak európai uniós támogatásra, amelyek rendelkeznek nemek közötti egyenlőségi tervvel (Gender Equality Plan, GEP). Ezen tervek kidolgozását és megvalósítását alapos tényfeltáró és elemző munka kellett hogy megelőzze és kövesse, így a tervek lényegesen növelték az érintett szervezetek vonatkozó aktivitását.

A külföldi jó példák kulcseleme a problémák társadalmi és intézményi szintű felismerése, az azokhoz kapcsolódó célok kitűzése, valamint a megvalósítás iránti elköteleződés. Ennek érdekében stratégiákat dolgoznak ki, és biztosítják a szükséges humán- és anyagi erőforrásokat. Hasonlóan fontos az intézmények támogatása jogi és materiális

eszközökkel is. A korábbiakban tárgyalt kerkedvezmények mellett alább felsorolunk néhány hazai gyakorlatba is átültethető jó gyakorlatot:

Kiválóság és professzori cím megszerzése:

- A Swiss National Science Foundation (Svájc) által nyújtott PRIMA-ösztöndíjakat olyan kiváló női kutatóknak szánják, akik esélyesnek látszanak a professzori cím megszerzésére. Az ösztöndíjasok a saját csoportjukkal legalább csoportvezetői szintű, független kutatási projektet hajtanak végre („PRIMA”).
- A Westfälische Wilhelms-Universität Münster „Erstklassig!” 18 hónapos ösztöndíjprogramja az egyetem valamennyi tanszékén dolgozó, kiemelkedő női posztdoktor, habilitációra jelölt és junior professzor számára nyújt célzott támogatást a professzori cím megszerzéséhez vezető úton, elsősorban mentorálásra és hálózatépítésre alapozva („Erstklassig!”).
- A kutatónők és a gyermeknevelési célú távollétből visszatérők számára a professzorság elérését támogató ausztriai példa a korábbi Elise Richter Program („Elise Richter Program”), melyet 2024-től az ASTRA Awards konstrukció váltott fel („FWF ASTRA Awards”).

Kutatások szülési szabadsággal párhuzamos kivitelezésének elősegítése, karrier- és családtervezéssel kapcsolatos mentoráció:

- A National Institutes of Health (NIH, USA) lehetőséget biztosít a posztdoktori és kutatási ösztöndíjak kiegészítésére. A támogatás olyan további személyzet, számítástechnikai szolgáltatások, kellékek és berendezések finanszírozására használható fel, amelyek elősegítik a kutatási projekt folytonosságát egy olyan időszakban, amikor a posztdoktor jelentős életeseeményeket él át, amelyek hatással lehetnek a kutatás előrehaladására vagy potenciális eredményességére („Notice of Special Interest...”).
- A German Research Council (DFG, Németország) a posztdoktori ösztöndíjak és kutatási ösztöndíjak kiegészítését biztosítja a díjazott terheisége vagy szülői szabadsága alatti kutatási költségek fedezésére, beleértve további tudományos vagy hallgatói személyzet felvételét („Deutsche Forschungsgemeinschaft Family Leave”).
- A Justus Liebig University Giessen egy olyan gyermekgondozási alapot hozott létre, amelynek célja, hogy enyhítse a célcsoportra nehezedő nyomást az intenzív projekt kivitelezési és minősítési fázisok alatt. Így további támogatás nyújtása válik lehetővé a családi kötelezettségekkel rendelkező kutatók számára, amely ellensúlyozhatja azt az időt, amely a családdal kapcsolatos teendők miatt „elvész” („Fonds zur Bezuschussung...”).

- A Heidelbergi Egyetem kutatói a szülőség és a kutatói karrier összeegyeztetése érdekében kutatási és családi konzultációt vehetnek igénybe. A szülői szabadságot kivenni szándékozó várandós szülők az egység- vagy intézetvezetővel együttműködve egy moderált konzultáció keretében megtervezhetik kutatói pályafutásuk folytatását, meghatározhatják a közös célokat, és egy olyan konstruktív megállapodásról tárgyalnak, amely minden fél érdekeit tükrözi („UNIFY [Unit for...]”).

Karrierszünet utáni visszatérést támogató kezdeményezések:

- A Daphne Jackson Trust (UK) posztdoktori ösztöndíjat biztosít azon kutatóknak, akik családi, gondozási vagy egészségi okokból bekövetkezett hosszabb szünet után térnek vissza a pályára („Current Opportunities”). Korábban a Marie Skłodowska-Curie-pályázatoknál létezett gyermeknevelési távollét utáni reintegrációt elősegítő pályázati forma, de hasonló jellegű volt az ausztriai Hertha Firnberg Program (FWF Hertha Firnberg Programme) is.
- A Narodowe Centrum Nauki (NCN, Lengyelország) egyes pályázatainak, például a SONATA („SONATA 20 Call for Researchers”) és SONATA Bis („Regulations on Awarding Funding...”) keretében a vezető kutatót teljes munkaidős munkaszerződés alapján foglalkoztató intézmény a vezető kutató kötelező oktatói terhelésének 50%-os csökkentésére kaphat kiegészítő támogatást, melyet megbízásos szerződéssel más, helyettesítő oktató megbízására fordíthat. Ezt a pályázatot általánosságban véve a pályázatvezető egyetemi oktatók óraterhelésének csökkentésére találták ki, ugyanakkor egy hasonló konstrukció jelentősen segíthetné az oktató-kutató munkakörökbe visszatérő kisgyermekes női kutatók tudományos előrehaladását is.
- A NIH kiterjeszti a korai karrierstádiumú kutatói jogosultságot azon kutatók számára, akik szülési, gondozási, egészségi okokból, rokkantsági szabadság vagy katonai szolgálat miatt szakították meg a karrierjüket („NIH Notice of System Change...”).
- A FAPERGS – Foundation for Support to Research in the State of Rio Grande do Sul (Brazília) egy évvel meghosszabbítja a tudományos eredményesség értékelésének (TÉR) időszakát abban az esetben, ha az elmúlt öt évben gyermek született, vagy örökbefogadásra került sor („Ciência e maternidade...”).

A fent kiemelt jó gyakorlatok mellett a Mothers in Science mozgalom akcióterve (Torres et al. 2023; Gazdag-Tóth et al. 2024), valamint a Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) kutatási alap („Gesetz über die Statistik...”; „Die Forschungsorientierten Gleichstellungs- und Diversitätsstandards...”; „Die Forschungsorientierten Gleichstellungsstandards...”). INKA adatbankja („INKA – Datenbank...”) további számos jó gyakorlatot is közöl, amelyekre jelen tanulmány keretein belül terjedelmi okok miatt nem térünk ki részletesebben.

Összegzés, következtetések

Az MTA Nők a Kutatói Életpályán Elnöki Bizottság felkérésére készítettük ezt a tanulmányt, azzal a céllal, hogy áttekintést adjunk a magyarországi női kutatók helyzetéről, nehézségeiről, az ezzel kapcsolatban rendelkezésünkre álló adatokról, különös tekintettel a korhatáros pályázati kiírásokban a szülési szabadság után megítélt korhatárkedvezmények hazai és nemzetközi gyakorlatairól.

A megfelelő intézkedések előkészítése szempontjából kiemelt fontosságúak a rendelkezésünkre álló adatok, így az FKA 2021-es évi felmérése is (Németh et al. 2022; 2023), amely egyértelműen kimutatta, hogy a gyermekvállalás a női kutatók publikációs teljesítményére és hivatkozásainak számára is negatívan hat. Reményeink szerint a témában további fontos adatokkal szolgálhat majd az MTA200 program keretében 2025-ben az MTA és az FKA által közösen tervezett, széles körű, a magyar tudományos közösség egészét célzó kérdőíves felmérés is. A felmérés a kutatói élet számos területét felöleli, és az előzetes tervek szerint kiemelt szerep jut majd benne az esélyegyenlőséggel kapcsolatos véleményeknek és adatgyűjtésnek is.

Jelentős eredménynek tartjuk, hogy a kutatói közösség egyre inkább felismeri a nők gyermekvállalással kapcsolatban keletkező szakmai hátrányát, és egyre többet tesz ennek kompenzálásáért. Ez azonban nem csak a – nagyon lényeges – korekedezmények méltányos megítélésén múlik. Úgy látjuk, hogy a kutatói-felsőoktatási közegben, elsősorban a fiatalabb korosztályokban, egyre jellemzőbb, hogy a férfiak is jobban kiveszik a részüket a gyermeknevelésből és a házimunkából. Véleményünk szerint ennek népszerűsítése, a vonatkozó karriermegszakítások beszámítása férfi kutatók esetében is és a társadalmi normák átalakulása lehet a női kutatók gyermekvállalással kapcsolatos nehézségeinek hosszú távú megoldása.

Megfogalmazott ajánlásaink mellett fontosnak tartjuk, hogy legyen lehetőség a gyermekvállalással kapcsolatos egyéb nehézségek (például veszélyeztetett terhesség, asszisztált reprodukciós eljárások, illetve a terhesség vagy szoptatás alatt nem engedélyezett veszélyes munkavégzés) bizonyos mértékű kompenzációjára is. A magyarországi családtámogatási rendszernek köszönhetően jellemzően hosszú szülési szabadsággal összefüggésben fontos szerepet játszhatnak a női kutatók pályán tartásában a hazai és nemzetközi jó gyakorlatok alapján felsorolt kiegészítő támogatások is. Emellett szeretnénk hangsúlyozni, hogy ezen intézkedésekre véleményünk szerint nem szabad a gyermeket vállalóknak nyújtott speciális előnyként vagy kedvezményként tekinteni, hanem olyan kompenzációs törekvésekként, melyek a kimutatható hátrány méltányos enyhítésére vonatkoznak.

Köszönetnyilvánítás

Toldy Andrea, Lázár Zsófia, Barta Veronika, Wilhelm Imola és Kovács Karolina Eszter az FKA tagjai, Gselmann Eszter és Solymosi Katalin az FKA-alumni tagjai. A tanulmány nem az FKA tagságának közös véleményét tükrözi. Pethő-Szirmai Juditnak köszönjük a magyar, illetve az angol nyelvi lektorálást.

Irodalomjegyzék

- „A Lendület Program 2025. évi pályázati felhívása”. MTA (2024. dec. 23.). <https://mta.hu/aktualis-palyazati-kiirasok/a-lendulet-program-2025-evi-palyazati-felhivasa-114140>.
- Acsády Judit – Gábor Csilla (2025). „Nők az MTA tagságában – Az utóbbi évek tendenciái a számok tükrében”. *Magyar Tudomány*, 186/1, 128–140. <https://doi.org/10.1556/2065.186.2025.1.16>.
- Avolio, Beatrice – Chávez, Jassmin – Vilchez-Román, Claudia (2020). „Factors That Contribute to the Underrepresentation of Women in Science Careers Worldwide: A Literature Review”. *Social Psychology of Education*, 23/3, 773–794. <https://doi.org/10.1007/s11218-020-09558-y>.
- Baciu, Dan C. (2023). „Causal Models, Creativity, and Diversity”. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10/1, 134. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01540-1>.
- Baker, Fiona C. et al. (2018). „Sleep Problems During the Menopausal Transition: Prevalence, Impact, and Management Challenges”. *Nature and Science of Sleep*, 10, 73–95. <https://doi.org/10.2147/NSS.S125807>.
- Balla Andrea – Solymosi Katalin – Csuka Gyöngyi (2024). „Új utak a kutatásértékelésben”. *Magyar Tudomány*, 185/1, 90–101. <https://doi.org/10.1556/2065.184.2024.1.11>.
- Bear, Julia B. – Woolley, Anita W. (2011). „The Role of Gender in Team Collaboration and Performance”. *Interdisciplinary Science Reviews*, 36/2, 146–153. <https://doi.org/10.1179/030801811X13013181961473>.
- Boivin, Jack et al. (2007). „International Estimates of Infertility Prevalence and Treatment-Seeking: Potential Need and Demand for Infertility Medical Care”. *Human Reproduction*, 22/6, 1506–1512. <https://doi.org/10.1093/humrep/dem046>.
- Boivin, Jack – Griffiths, Emma – Venetis, Constantinos A. (2011). „Emotional Distress in Infertile Women and Failure of Assisted Reproductive Technologies: Meta-Analysis of Prospective Psychosocial Studies”. *BMJ*, 342, d223. <https://doi.org/10.1136/bmj.d223>.
- Brent, Robert L. (2009). „Saving Lives and Changing Family Histories: Appropriate Counseling of Pregnant Women and Men and Women of Reproductive Age, Concerning the Risk of Diagnostic Radiation Exposures During and Before Pregnancy”. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 200/1, 4–24. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2008.06.032>.
- Ceci, Stephen J. – Williams, Wendy M. (2011). „Understanding Current Causes of Women’s Underrepresentation in Science”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 108/8, 3157–3162. <https://doi.org/10.1073/pnas.1014871108>.
- Chatterjee, Paula – Werner, Rachel M. (2021). „Gender Disparity in Citations in High-Impact Journal Articles”. *JAMA Network Open*, 4/7, e2114509. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.14509>.
- „Ciência e maternidade: FAPERJ lança editais com novas regras para mães”. *FAPERJ* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://siteantigo.faperj.br/?id=3777.2.8>.
- „Communication of the European Parliament: It’s Time to Celebrate the Incredible Women Shaping the Future of Science!”. *European Parliament* (letöltés: 2025. ápr. 2.). https://www.linkedin.com/posts/european-parliament_its-time-to-celebratethe-incredible-women-activity-7295018809621397505-aFln/.
- Cox, Claire M. et al. (2022). „Infertility Prevalence and the Methods of Estimation from 1990 to 2021: A Systematic Review and Meta-Analysis”. *Human Reproduction Open*, 4, hoac051. <https://doi.org/10.1093/hropen/hoac051>.
- „Current Opportunities”. *Daphne Jackson Trust* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://daphnejackson.org/about-fellowships/current-opportunities/>.
- „Deutsche Forschungsgemeinschaft Family Leave”. *Deutsche Forschungsgemeinschaft* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://www.dfg.de/en/basics-topics/basics-and-principles-of-funding/equal-opportunities/applicants-funding-recipient/family-leave>.
- „Die „Forschungsorientierten Gleichstellungs- und Diversitätsstandards der DFG”. *Deutsche Forschungsgemeinschaft* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://www.dfg.de/resource/blob/175828/13e863b933ff6a09e0211e40e9e2575/fog-aspekt-diversitaet-data.pdf>.

- „Die Forschungsorientierten Gleichstellungsstandards der DFG”. *Deutsche Forschungsgemeinschaft* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://www.dfg.de/resource/blob/172916/e55d09e2ba66176344eb7891b24f3561/forschungsorientierte-gleichstellungsstandards-2017-data.pdf>.
- „Elise Richter Program”. *FWF Austrian Science Fund* (letöltés: 2025). <https://www.fwf.ac.at/en/funding/portfolio/careers/elise-richter>.
- „Employed HRST by Category, Sex, Age and NACE Rev. 2 Activity”. *Eurostat* (letöltés: 2025. ápr. 2.). https://doi.org/10.2908/HRST_ST_NSECSEX2.
- „ERC Consolidator Grants”. *European Research Council* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://erc.europa.eu/apply-grant/consolidator-grant>.
- „ERC Grants”. *European Research Council* (letöltés: 2025). https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2025/wp_horizon-erc-2025_en.pdf.
- „ERC Starting Grants”. *European Research Council* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://erc.europa.eu/apply-grant/starting-grant>.
- „Erstklassig!”. *Universität Münster* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://www.uni-muenster.de/Gleichstellung/mentoring.html>.
- Feldman, Ruth (2023). „Women in Science: Myth, Harsh Reality, or Advantage”. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1247242. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1247242>.
- „Felhívás STARTING kutatási pályázathoz”. *NKFI Hivatal* (2025. márc. 14.). <https://nkfi.gov.hu/palyazoknak/nkfi-alap/starting-kutatasi-palyazat-starting25>.
- „Fonds zur Bezuschussung zusätzlicher Kinderbetreuungskosten”. *Justus-Liebig-Universität Giessen* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://www.uni-giessen.de/de/org/admin/stab/bfc/foerderungbfc/kinderbetreuung>.
- „FWF ASTRA Awards”. *FWF Austrian Science Fund* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://www.fwf.ac.at/en/funding/portfolio/careers/fwf-astra-awards>.
- „FWF Hertha Firnberg Programme”. *Akademie der bildenden Künste Wien* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://www.akbild.ac.at/en/research/art-research-service/calls-contests/2020/fwf-hertha-firnberg-programm>.
- Gallos, Diana R. – Coppock, Alexander (2023). „Gender Composition Predicts Gender Bias: A Meta-Reanalysis of Hiring Discrimination Audit Experiments”. *Science Advances*, 9, eade7979. <https://doi.org/10.1126/sciadv.ade7979>.
- Gazdag-Tóth Boglárka et al. (2024). „Globális cselekvési felhívás a tudományos pályán dolgozó édesanyák érdekében”. *Mothers in Science* (letöltés: 2025. ápr. 2.).
- „Gesetz über die Statistik für das Hochschulwesen sowie für die Berufsakademien (Hochschulstatistikgesetz – HStatG)”. *Bundesministerium der Justiz* (letöltés: 2025. ápr. 2.). https://www.gesetze-im-internet.de/hstatg_1990/BJNR024140990.html.
- Gselmann Eszter – Solymosi Katalin (2021). „A felsőoktatás diverzitásának növeléséhez alapvető szemléletváltásra van szükség”. *Magyar Tudomány*, 182/11, 1451–1476. <https://doi.org/10.1556/2065.182.2021.11.6>.
- Hartmann Bálint et al. (2023). „Az ösztöndíjak és támogatások szerepe a fiatal kutatói életpálya során”. *Magyar Tudomány*, 184/12, 1566–1574. <https://doi.org/10.1556/2065.184.2023.12.12>.
- Hennegan, Julie et al. (2021). „Menstrual Health: A Definition for Policy, Practice, and Research”. *Sexual and Reproductive Health Matters*, 29/1, 31–38. <https://doi.org/10.1080/26410397.2021.1911618>.
- „HUN-REN Támogatott Kutatócsoportok Program”. *HUN-REN Magyar Kutatói Hálózat*, 303/1/2024/IF (2024. szept. 23.). https://hun-ren.hu/data/hun-ren/palyazatok/tkcs/TKCS2024_palyazati_felhivas_10.30_alairt_modositott.pdf.
- „INKA – Datenbank zu Gleichstellungsmaßnahmen in der Wissenschaft. Trefferliste”. *GESIS Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://www.gesis.org/cews/recherche-und-beratung/recherche-tools/inka/recherche>.
- Kovács Karolina Eszter et al. (2025). „A kutatónők helyzete és támogatási lehetőségei hazai és nemzetközi jógyakorlatok alapján”. *Educatio*, 34/1, 53–69.

- Maliniak, Daniel – Powers, Ryan – Walter, Barbara F. (2013). „The Gender Citation Gap in International Relations”. *International Organization*, 67/4, 889–922. <https://doi.org/10.1017/S0020818313000209>.
- „MSCA Postdoctoral Fellowships Handbook Call 2024 [Marie Skłodowska-Curie Actions – Postdoctoral Fellowships]”. *MSCA-NET* (letöltés: 2025. ápr. 2.). https://msca-net.eu/wp-content/uploads/2024/07/MSCA_PF2024_handbook-1.pdf.
- Németh Brigitta et al. (2023). „Egyenlőtlenségek a magyarországi fiatal kutatók között: tanulságok a Fiatal Kutatók Akadémiájának 2021-es felméréséből”. *Magyar Tudomány*, 184/12, 1529–1543. <https://doi.org/10.1556/2065.184.2023.12.10>.
- Németh Brigitta et al. (2022). *A fiatalok helyzete az akadémiai pályán: az FKA 2021-ben készült felmérésének eredményei*. Budapest: Fiatal Kutatók Akadémiája. <https://doi.org/10.36820/fka.2022>.
- Ni, Chaoqun et al. (2021). „The Gendered Nature of Authorship”. *Science Advances*, 7/36, eabe4639. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abe4639>.
- „NIH Notice of System Change and Procedure for Requesting an Extension to Early Stage Investigator (ESI) Status”. *National Institutes of Health* (2019. júl. 25.). <https://grants.nih.gov/grants/guide/notice-files/NOT-OD-19-125.html>.
- „Notice of Special Interest: Administrative Supplements to Promote Research Continuity and Retention of NIH Mentored Career Development (K) Award Recipients and Scholars”. *National Institutes of Health* (2020. jan. 2.). <https://grants.nih.gov/grants/guide/notice-files/not-od-20-054.html>.
- Owen, Lara (2022). „Researching the Researchers: The Impact of Menstrual Stigma on the Study of Menstruation”. *Open Library of Humanities*, 8/1, 1–25. <https://doi.org/10.16995/olh.6338>.
- Paksi Veronika (2014). „Miért kevés a női hallgató a természet és műszaki tudományi képzésekben? Nemzetközi kitekintés a »leaky pipeline metaforára«”. *Replika*, 85–86, 193–214.
- „Pályázat a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának elnyerésére 2025-ben”. *MTA* (2025. febr. 6.). <https://mta.hu/aktualis-palyazati-kiirasok/palyazat-a-magyar-tudomanyos-akademia-bolyai-janos-kutatasi-osztondijanak-elnyeresere-2025-ben-114197>.
- „PRIMA”. *Swiss National Science Foundation* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://www.snf.ch/en/soMWfibVDpNMVR36/funding/careers/prima>.
- „Regulations on Awarding Funding for Research Tasks Funded by the National Science Centre as Regards Research Projects”. *National Science Centre* (letöltés: 2025. ápr. 2.). https://ncn.gov.pl/sites/default/files/pliki/uchwaly-rady/2024/uchwala23_2024-zal1_ang.pdf.
- Sarseke, Gulnar (2018). „Under-Representation of Women in Science: From Educational, Feminist, and Scientific Views”. *NASFA Journal About Women in Higher Education*, 11/1, 89–101. <https://doi.org/10.1080/19407882.2017.1380049>.
- Schmaling, Karen B. – Gallo, Stephen A. (2023). „Gender Differences in Peer Reviewed Grant Applications, Awards, and Amounts: A Systematic Review and Meta-Analysis”. *Research Integrity and Peer Review*, 8, 2. <https://doi.org/10.1186/s41073-023-00127-3>.
- Severin, Anna et al. (2020). „Gender and Other Potential Biases in Peer Review: Cross-Sectional Analysis of 38,250 External Peer Review Reports”. *BMJ Open*, 10/8, e035058. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-035058>.
- „She Figures 2024: Gender in Research and Innovation: Statistics and Indicators”. *Publications of the European Union* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7646222f-e82b-11ef-b5e9-01aa75ed71a1/language-en>.
- „She Figures 2024: Hungary”. *European Commission* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://ec.europa.eu/assets/rtd/shefigures/2024/files/shefigures2024fiche-hu.pdf>.
- „SONATA 20 Call for Researchers”. *National Science Centre* (letöltés: 2024. szept. 16.). <https://ncn.gov.pl/en/ogloszenia/konkursy/sonata20>.
- Stolaki, Afroditi – Satratzemi, Maya – Xinogalos, Stelios (2023). „Examining the Effects of Creativity, Collaboration, Creative Diversity and Autonomy on Team Creative Performance”. *Thinking Skills and Creativity*, 50, 101415. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101415>.
- Tardos Katalin – Paksi Veronika – Fábri György, szerk. (2021). *Tudományos karrier a 21. század elején*. Szeged: Belvedere Meridionale.

- Torres, Isabel N. et al. (2023). „Global Call to Action for Mothers in Science: Action Plan for Funding Agencies 2023”. *Mothers in Science* (letöltés: 2025. ápr. 2.).
- „UNIFY (Unit for Family, Diversity and Equality)”. *Universität Heidelberg* (letöltés: 2025. ápr. 2.). <https://www.unify.uni-heidelberg.de/de>.
- Wadman, Meredith (2023). „Women Scientists at Famed Oceanography Institute Have Half the Lab Space of Men”. *Science*, 379/6630, 317–318. <https://doi.org/10.1126/science.adg8170>.

Női és férfi kutatók tudományos eredményességének időfüggése az MTMT szerint

Time Dependence of Scientific Performance of Female and Male Researchers According to MTMT Data

Kaptay György¹ – Palotás Árpád Bence²

¹ az MTA rendes tagja, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Miskolc, HUN-REN–ME Anyagtudományi Kutatócsoport, Miskolc,
Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Nonprofit Kft., Miskolc

gyorgy.kaptay@uni-miskolc.hu

² az MTA rendes tagja, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Miskolc
arpad.palotas@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

Mivel a nők és a férfiak mind kognitív képességeikben, mind létszámarányukban hasonlóak, ezért a tudomány minden területén arra kell törekednünk, hogy a nők részaránya 50% körüli legyen. Ehhez képest a férfítöbbségű szavazók által konzervált „hagyomány” az, hogy jelenleg akadémikusainknak csak 10,7%-a nő. A Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) adatait felhasználva bemutatjuk, hogy a kutatói pálya első öt évében a női kutatók legalább ugyanolyan sikeresek, mint férfi társaik (sőt), ami újfent igazolja a fenti tételt. A helyzet azt követően változik meg a férfiak javára, amikor a kutatók a családalapítás és a gyermekvállalás időszakába lépnek, hiszen minden pozitív társadalmi változás ellenére ma is igaz, hogy a nők ezekből a feladatokból nagyobb részt vállalnak férfitársaikhoz képest. Az ezen évek alatt a női kutatók által meg nem írt tudományos művekre aztán elmaradnak a hivatkozások, ezért a független hivatkozásokban és az ebből számolt h-indexben mért tudományos kiválóságban a női kutatók életkoruk előrehaladtával egyre inkább elmaradnak azonos életkorú férfitársaikhoz képest. A cikkben az MTMT adatait felhasználva ennek az években mérhető elmaradásnak a mértékét mutatjuk ki a kutatói életkor függvényében. Ezek az adatok remélhetőleg hozzá fognak járulni ahhoz, hogy a jövőben olyan szabályokat fogadjunk el az MTA-n, amelyek a női kutatóknak visszaadják azokat a többletéveket, amelyeket férfitársaikhoz képest az egyik fontos társadalmi feladatokra fordítottak: családjuk létrehozására, annak stabilizálására és gyermekeik felnevelésére.

Abstract

Since women and men are similar in both cognitive ability and in numbers, we should aim for a proportion of women of around 50% in all fields of science. By comparison, the “tradition” maintained by male voters means that only 10.7% of our academics are currently women. Using data from the Hungarian Science Bibliography (MTMT), we show that in the first five years of their research careers, female researchers are at least as successful as their male counterparts (or even more so), which again confirms the above thesis. The situation changes in favour of men when researchers enter the period of starting a family and having children because despite all the positive societal changes, it is still true that women take on a larger share of these tasks than men. As a result, female researchers produce fewer scientific publications during these years, leading to fewer citations. Consequently, female researchers fall further behind their male counterparts of the same age in terms of independent citations and the resulting h-index of scientific excellence. In this article, we use MTMT data to show the extent of this lag, measured in years, as a function of the age of the researcher. It is hoped that these data will contribute to the adoption of future rules at the Hungarian Academy of Sciences that will give female researchers back the extra years they have spent on one of their most important societal tasks: creating and stabilizing their families and raising their children.

Kulcsszavak: női kutatók eredményei, az MTA női tagjai, idővesztés a férfiakhoz képest, MTMT tanulmányok

Keywords: female researchers' results, female members of the Hungarian Academy of Sciences, time loss compared to men, conclusions based on the Hungarian Science Bibliography (MTMT)

Bevezetés

A nők helyzetét a társadalomban és a tudományban már többen vizsgálták, és több javaslat is született a helyzet javítására (lásd az összes hivatkozást Acsády Judittól Wilhelm Imoláig, de Kaptay György és Szilágyi Adrienn kivételével). Mi nem ismételjük meg az összes nyilvánvaló, a női egyenjogúság mellett szóló érvet, hanem férfiúi nagyvonalúsággal axióma szerint elfogadjuk azt a tételt, hogy a szellemi és tudományos életben a nők optimális részaránya 50% körüli kell hogy legyen, hiszen kognitív képességeik és társadalmi részarányuk is hasonló a férfiakéhoz. Az 1. táblázatban mutatjuk be azokat a statisztikai adatokat, amelyek ennek az elvárt optimumnak erősen ellentmondanak. A helyzet abszurdításának jellemzésére bevezetjük a 'macsóindex' fogalmát is (ahol macsó = hímsoviniszta), aminek definíciója:

$$\text{macsóindex} \equiv 100 \times \left(1 - \frac{\text{nők aránya az adott társadalmi csoportban}}{50} \right) \quad (1)$$

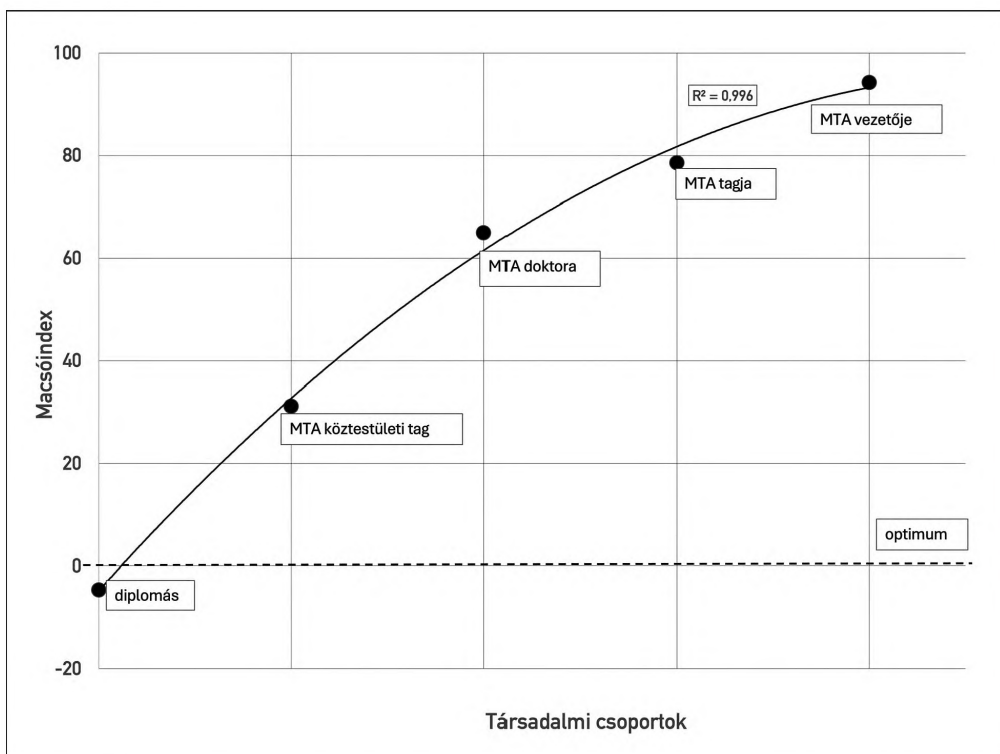
Az (1) egyenlet szerint a macsóindex akkor 0%, ha egy társadalmi csoportban 50% a nők aránya, akkor -100%, ha ez az arány 100%, és akkor +100%, ha ez az arány 0%. Az 1. táblázatban megadjuk a macsóindex értékeit is. Mint ahogy innen következik,

1. táblázat. A nők aránya Magyarországon 2024-ben, különféle társadalmi csoportokban

Társadalmi csoport	Nők aránya, %	Forrás	Macsóindex, %
diplomások (egyetem és mesterszint)	52,3	„Férfiak és nők”	-4,6
K+F-intézet költségvetési helyen kutató	29,8	„Férfiak és nők”	40,4
az MTA köztestületi tagja	34,4	MTA	31,2
az MTA doktora	17,5	MTA	65,0
az MTA tagja (levelező és rendes)	10,7	MTA	78,6
az MTA vezetője*	2,88	Szilágyi, „A Magyar Tudományos Akadémia tisztségviselőinek...”	94,2

Megjegyzés: * A 21 férfi elnök + 69 férfi alelnök + 27 férfi főtitkár + 18 férfi főtitkárhelyettes mellett az egyedüli női alelnök Lamm Vanda, míg Csépe Valéria, Barnabás Beáta Mária és Erdei Anna főtitkárhelyettesek

minél feljebb próbál jutni egy diplomás nő a tudományos ranglétrán hazánkban, annál kevesebb esélye van a férfi kortársaihoz képest (lásd az 1. ábrán az $R^2 = 0,996$ -os „remek” korrelációt is). Ezt mi erősen igazságtalannak és anakronisztikusnak tartjuk, cikkünket azért írjuk, hogy tényadatokat szolgáltatassunk azoknak, akik a helyzet javításán dolgoznak.



1. ábra. Macsóindex a különböző társadalmi csoportokban az 1. táblázat alapján
Forrás: a szerzők szerkesztése

1. A mérési metodika és néhány statisztikai adat

Ebben a cikkben az MTMT-ben található adatok alapján adunk meg eddig talán ismeretlen trendeket. Az MTMT-adatokat 2025. január 18-án töltöttük le. Először lementettük az MTA honlapjáról a köztestületi tagok névsorát, innen nyertük ki az azonosítót (MTA ID), az adatlapot és az MTMT ID-t is.¹ Ennek ismeretében letöltöttük a publikációs listákat és egyéb adatokat tartalmazó XML-fájlokat, összesen 100 GB méretben. Így a 16 808 fő MTMT-ben talált kutatónak összesen 1,44 millió publiká-

¹ Akinek nem szerepel az MTMT-azonosítója az MTA honlapján, azok ebben a statisztikában nem szerepelnek, kivétel az akadémikusok, akiknek hiányzó adatait külön kézzel vittük fel.

cióját és az ezekre érkezett összesen 7,83 millió független hivatkozását találtuk meg. Közülük 14 307 fő bír minimum 1 független hivatkozással és innen számolt minimum 1-es h-indexszel. Ebben a tanulmányban csak az ő adataikkal foglalkozunk. Azért a h-indexet használjuk a tudományos kiválóság jellemzésére, mert jelenleg ez az egyetlen komplex tudományometriai mérőszám az MTMT-ben (a h-index kritikáját lásd Kaptay 2020).

A nőket és a férfiakat egymástól a nevük alapján különböztettük meg. Ehhez a HUN-REN Nyelvtudományi Kutatóközpont honlapján közzétett anyakönyvi bejegyzésre alkalmasnak minősített utónevek jegyzékét használtuk fel. Ezek szerint a 14 307, már legalább 1-es h-indexszel bíró köztestületi tag közül 417 fő (34,4%) nő, akik részaránya azonban erősen ingadozik a különböző tudományos osztályokon, lásd 2. táblázat.

2. táblázat. A nők száma és részaránya a köztestületi tagok, az MTA-doktorok, az MTA levelező tagok és az MTA rendes tagok között, MTA-osztályonkénti bontásban

MTA-osztály	Köztestületi tag / nő / arányuk, %	MTA doktora / nő / arányuk, %	MTA levelező tag / nő / arányuk, %	MTA rendes tag / nő / arányuk, %
I.	1250 / 675 / 54,0	177 / 57 / 32,2	6 / 2 / 33,3	21 / 2 / 9,5
II.	1621 / 709 / 43,7	224 / 52 / 23,2	6 / 1 / 16,7	14 / 1 / 7,1
III.	641 / 119 / 18,6	146 / 8 / 5,5	6 / 0 / 0,0	31 / 0 / 0,0
IV.	1469 / 512 / 34,9	158 / 27 / 17,1	6 / 2 / 33,3	21 / 2 / 9,5
V.	1596 / 548 / 34,3	431 / 86 / 20,0	8 / 3 / 37,5	24 / 3 / 12,5
VI.	1404 / 205 / 14,6	208 / 18 / 8,7	7 / 1 / 14,3	25 / 1 / 4,0
VII.	1235 / 452 / 36,6	246 / 45 / 18,3	6 / 1 / 16,7	17 / 1 / 5,9
VIII.	1425 / 562 / 39,4	280 / 58 / 20,7	6 / 4 / 66,7	26 / 3 / 11,5
IX.	2194 / 818 / 37,3	189 / 37 / 19,6	4 / 1 / 25,0	20 / 2 / 10,0
X.	748 / 219 / 29,3	103 / 13 / 12,6	6 / 1 / 16,7	18 / 1 / 5,6
XI.	724 / 98 / 13,5	204 / 13 / 6,4	6 / 0 / 0,0	24 / 1 / 4,2
Összes	14307 / 4917 / 34,4	2366 / 415 / 17,5	67 / 16 / 23,9	241 / 17 / 7,1

A 2. táblázatban bemutatjuk a nők részarányát az MTA-doktorok, az MTA levelező tagok és az MTA rendes tagok között is, MTA-osztályonkénti bontásban. Láthatjuk, hogy a női levelező tagok részaránya (23,9%) már lényegesen előnyösebb a rendes tagi részarányhoz (7,1%) képest, ami az előző évek pozitív intézkedéseinek köszönhető.

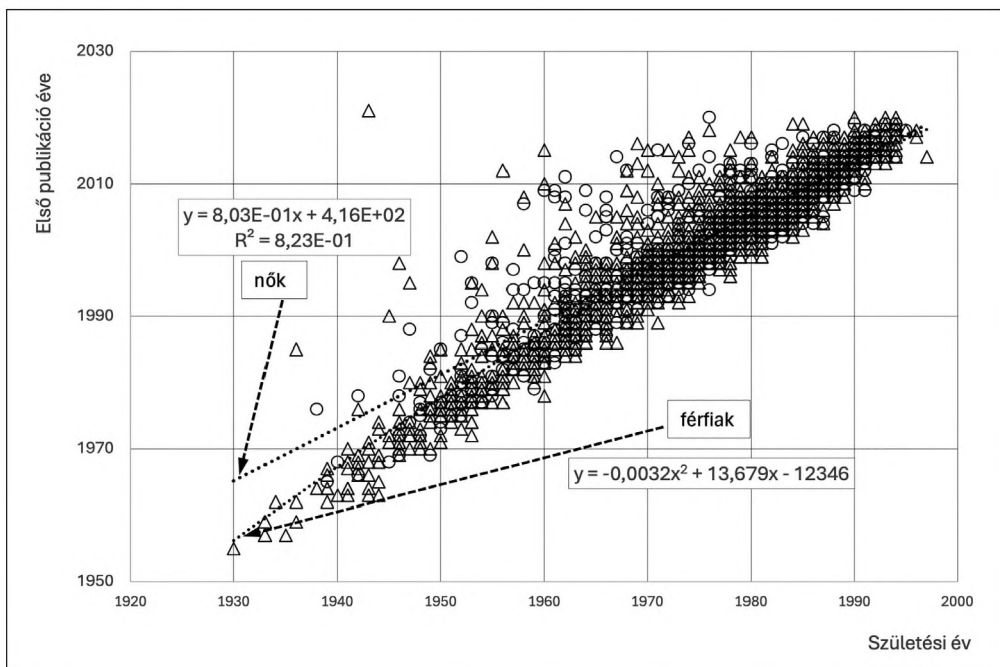
Ezek az intézkedések azonban főleg a háromévente választható, 33 levelező akadémiai hely feletti néhány hely nöket preferáló elosztására alkalmasak, de egyedül ezzel a módszerrel csak a nagyon mélyről induló női részarányon lehetett segíteni, az optimálisnak tartott 50% körüli női részarány azonban így nem érhető el. Ezért kiegészítő intézkedésekre van szükség. A 3. fejezetben e jövőbeni intézkedésekhez kívánunk empirikus adatokat szolgáltatni.

2. A kutatói és a valós életkorok kapcsolata

Ebben a tanulmányban az első MTMT-ben látszó publikációtól eltelt időt vesszük azonosnak a kutatói életkorral. Mivel GDPR- (General Data Protection Regulation, Általános adatvédelmi rendelet) okokból az MTMT nem jeleníti meg minden kutató valós életkorát, ezért a kutatói és valós életkor közötti kapcsolatot csak azok esetében tudjuk vizsgálni, akik úgy döntöttek, hogy nyilvánossá teszik valós életkorukat is (köszönjük). A 9390 férfi közül ezt az adatot 1830-an tették nyilvánossá (19,5%), míg a 4917 nő közül 1029-en (20,9%). Ezzel sikerült ebben a cikkben megdöntenünk azt a társadalmi tévhitet is (legalábbis a kutatók halmazában), miszerint a nők állítólag érzékenyebbek az életkorukra, mint a férfiak. Egyébként éppen emiatt az átlag 20% miatt mutatjuk be a 3. ábrát (lásd lent) a kutatói életkor függvényében, hogy az ötször annyi adatpontból megbízhatóbb trendeket kapjunk, de emiatt szükségünk van a 2. ábrára is.

A statisztikából kizártuk azt a 14 férfit és 2 nőt, akik 1940 előtt születtek, így összesen 1816 férfi és 1027 nő adatait mutatjuk be a 2. ábrán, amelyen az első publikáció éve látható a születési év függvényében külön a nőkre és a férfiakra. Első ránézésre ugyan a női pontok fedik a férfi pontokat, de a statisztika kimutatja a két nem közötti különbséget. Bár az R^2 együtthatók a 2. ábrán nem túlságosan erősek, de az valamivel jobb a férfiakra (0,87), mint a nőkre (0,82), ami valószínűleg a 77%-kal több férfit pont miatt van így. A 2. ábrán a pontok mentén ugyan szemre látszik némi görbület, de lineárisnál bonyolultabb függvény használatát nem láttuk indokoltnak.

A 2. ábrán bemutatott két szaggatott trendvonal azt mutatja, hogy az 1940-es években született férfiaknak átlagban négy évvel előbb jelent meg az első tudományos művük, mint a kortárs női kutatóknak. Azt is látjuk azonban, hogy ez a két trendvonal közelít egymáshoz, sőt, az 1985-ös születésűek esetén már metszi is egymást. Adataink legkésőbb az 1995. évben születetteknek vannak, ekkor a női kutatók már jellemzően korábban kezdenek publikálni, mint férfitársaik. Ezek szerint ötven év alatt a magyar társadalomban a tudományos karrier kezdő életkora szempontjából is kiegyenlítődték a női és férfi esélyek. Ez, a diplomaszerezéssel együtt (lásd 1. táblázat) azért könnyebb pálya a levelező MTA-tagválasztásához képest, mert az első publikáció megjelentetése és a diploma megszerzése főleg a befektetett munkán és a kitartáson múlik és nem egy férfitöbbségű testület titkos szavazásán.



2. ábra. Az első publikáció évének függése a születési évtől a női kutatókra (kerek pontok) és a férfi kutatókra (háromszög pontok)
Forrás: a szerzők szerkesztése

Ebben a tanulmányban bennünket a 2. ábra főleg azért érdekel, hogy a kutatói életkorból meg tudjuk becsülni a valós életkort. Ezt a 2. ábrán látható egyenletekből előállított következő egyenletekkel tehetjük meg:

$$Kor_{jfi} \cong 22,4 + 1,132 \times Kutkor \quad (Kutkor \leq 60) \quad (2a)$$

$$Kor_{nő} \cong 20,5 + 1,247 \times Kutkor \quad (Kutkor \leq 60) \quad (2b)$$

ahol $Kutkor$ a kutatói életkor, Kor_{jfi} a férfi kutatók valós életkora, $Kor_{nő}$ a női kutatók valós életkora. A (2a–b) egyenletek szerint a 10 ... 50 év kutatói életkorú női kutatók valós életkora 33,0 ... 82,9 év, míg férfitársaik valós életkora 33,7 ... 79,0 év. Innen is a fenti trend köszön vissza: hosszú (kutatói években mért) életpályával valamivel idősebb, míg rövid (kutatói években mért) életpályával valamivel fiatalabb női kutatók rendelkeznek férfitársaikhoz képest.

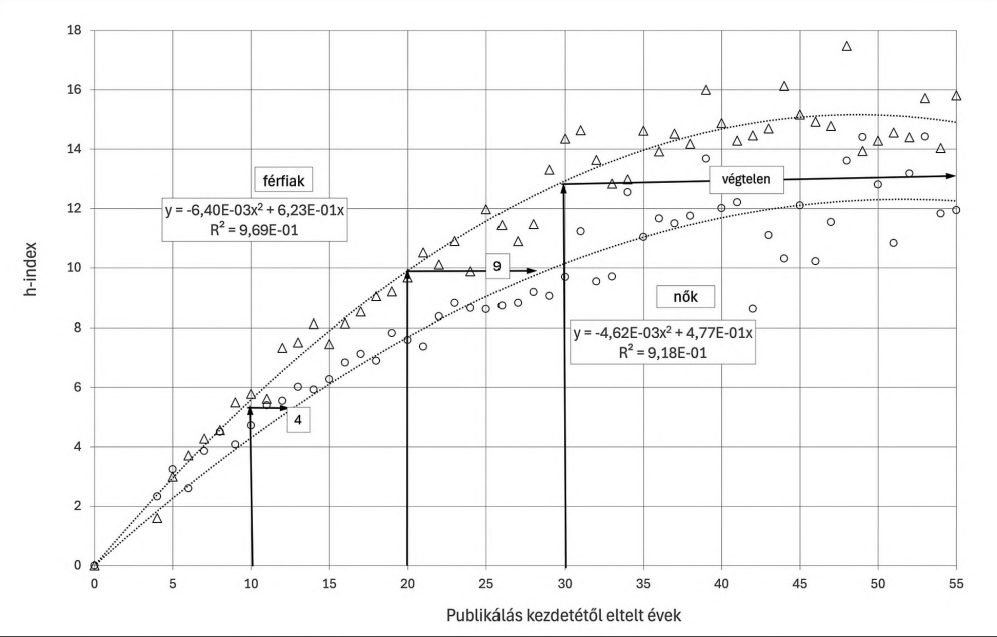
3. A publikációs és hivatkozási eredmények összehasonlítása

A 3. táblázatban a férfiak és a nők átlagos publikációs teljesítményét hasonlítjuk össze. Innen az látszik, hogy átlagban a nőknek kevesebb publikációjuk van, emiatt független hivatkozásuk és az innen számolt h-indexük is alacsonyabb – ez logikus, ha elfogadjuk, hogy a nők és a férfiak átlagban azonos értékű és ezért átlagban azonos

hivatkozásvonzó képességgel bíró tudományos műveket írnak. A 3. ábrán azt mutatjuk be, hogy hogyan nő a független hivatkozásokból számított h-index a tudományos pályán eltelt idő függvényében a férfiak és a nők átlagára, a teljes MTMT-adatbázisra, elátlagolva a tudományterületeket. Láthatjuk, hogy a nők adatai jobban szórnak, mert kevesebb a vizsgált női kutató a vizsgált férfi kutatóhoz képest. A különbséget a férfiak és a nők eredményei között a 4. ábrán mutatjuk be.

3. táblázat. A férfiak és nők átlagos publikációs és hivatkozásvonzó teljesítménye

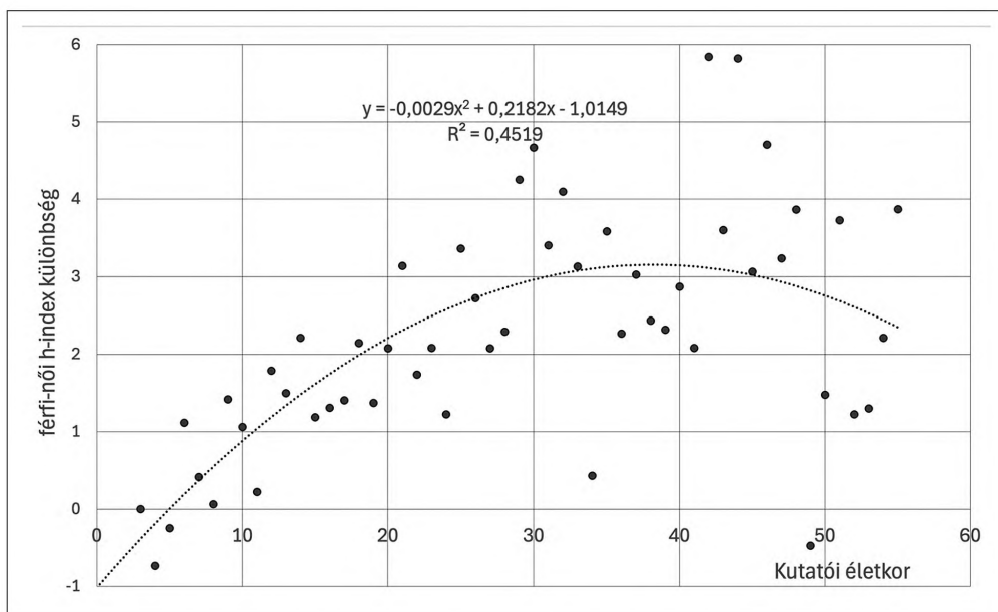
Jellemző	Átlag	Férfiak átlaga	Nők átlaga	Nők a férfiakhoz képest
publikációk száma	144	161	114	−29,2%
független hivatkozások száma	965	1178	558	−52,6%
azokból számolt h-index	11,0	12,1	8,80	−27,3%



3. ábra. A független hivatkozásokból számolt átlagos h-index a kutatói évek függvényében a női kutatókra (kerek pontok) és a férfiakra (háromszög pontok). A nyilak a különböző férfi kutatói életkorokhoz (10–20–30 év) tartozó átlagos férfi eredményekhez viszonyított női kutatói elmaradásokat (4–9–„végtelen” év) mutatják be
Forrás: a szerzők szerkesztése

Ha egy pillanatra eltekintünk a trendvonalaktól, akkor a 3. ábra első pontjai azt mutatják, hogy a kutatói pálya első éveiben még nincs mérhető különbség a férfiak és a nők teljesítménye között, sőt. Ezt támasztja alá a 4. ábrán látható egyenlet is, amely

0 év kutatói életkorra extrapolálva átlag 1,0 értékkel magasabb h-indexet ad meg a nőkre, mint a férfiakra, illetve a két nem teljesítménykülönbsége statisztikailag kb. 5 éves kutatói életkorban válik hasonlónak. Hasonló trendet láttunk a 2. ábrán is (a mai fiatal női kutatók előbb kezdenek publikálni, mint férfitársaik). Ez valószínűleg azért van így, mert ebben az életkorban a családdal és a gyermekekkel kapcsolatos gondok és teendők még nem hátráltatják a női kutatók tudományos fejlődését (ez azért csak manapság jellemző, mert manapság a nők később mennek férjhez, és később szülnek, mint ötven évvel ezelőtt). Ez az empirikus adat alátámasztja azt a hipotézist is, hogy a nők és a férfiak között nincs semmilyen különbség tudományos tehetségükben és potenciális tudományos eredményeikben (sőt): ez újfent igazolja az (1) egyenletben az optimális esetre választott 50%-os értéket, amelyhez a 0%-os macsóindex tartozik (lásd 1. ábra).



4. ábra. A férfiak és nők független hivatkozásokból számolt h-indexeinek különbsége a kutatói életkor függvényében
(a 3. ábra felső háromszög pontjai mínusz annak alsó kerek pontjai)
Forrás: a szerzők szerkesztése

A 3. és a 4. ábra szerint azonban a kutatói (és a valós) életkor előrehaladtával a férfiak teljesítménye fokozatosan leelőzi a nőké, ami feltehetőleg a családalapítással és gyermekvállalással magyarázható, illetve azzal, hogy minden társadalmi fejlődés dacára a női kutatók életidejük és életenergiájuk nagyobb részét áldozzák fel a család és a gyermekek oltárán, mint a férfi kutatók (ezt megerősítő eredményeket olvashattunk a Fiatal Kutatók Akadémiájának tanulmányaiban is, lásd Németh et al. 2023 és

Wilhelm et al. 2023). Ez oda vezet, hogy az 5–25 kutatói életkor-intervallumban a nők kutatói pályáján több mű nem íródik meg a férfitársaikhoz képest, emiatt azokat később persze hivatkozni sem lehet. Emiatt a független hivatkozásokban és az abból számolt h-indexben mért kutatói teljesítményben fokozatosan nő a különbség a két nem között a férfiak javára, legalábbis a 40 éves kutatói életkorig. Ekkortól a nők lemaradása fokozatosan mérséklődik, majd (mint ahogy az a 4. ábrán látható egyenlet extrapolációjából kiderül) 75 év kutatói életkor után a nők már talán sikeresebbé is válnának a férfiaknál, ami persze csak akkor következne be, ha élnének eddig. Erre azonban nincs valós adatunk, hiszen ez a (2b) egyenlet szerint már a 110 év feletti valós életkor felett következne be. A 4. ábrán látható maximumpont azzal magyarázható, hogy az anyaszerepből a nagymama szerepbe átmenő női kutatók tudományos másodvirágzásukat élik, míg az apaságot nagyrészt átdolgozó férfi kutatók kezdik felfedezni magukban a nyugapapát, és emiatt lelassulnak.

A 3. ábrán függőleges nyilakkal bejelöltük a 10–20–30 kutatói évekhez tartozó férfi átlagos h-index-értékeket, és ezekből a pontokból húztunk vízszintes nyilakat jobbra, melyek 4–9–„végtelen” éves késéssel metszik el a női kutatók átlagos teljesítménygörbéjét. A női kutatók eredményeiben látható időhátrányt a kutatói életkor függvényében a 4. táblázatban mutatjuk be, a 3. ábrán látható szaggatott trendvonalak egyenleteiből és a (2a–b) egyenletekből kiszámolva. A 3. ábráról látható, hogy a 30 kutatói férfiévhöz tartozó teljesítményhez miért nem tudunk női kutatóév hátrányt rendelni a 4. táblázatban: azért, mert a 3. ábrán $x = 30$ értéknél a férfivonal pontjából húzott vízszintes vonal már anélkül húz el a női vonal felett, hogy elmetszené azt.

4. táblázat. A női kutatók eredményeiben látható elmaradás kutatói években számolva a férfiak kutatói életkorának függvényében (a 3. ábrán látható és a 2a–b képletekből számolva)

Férfiak kutatói (és valós) életkora	Női kutatók lemaradása kutatói (és valós) években
0 (22,4)	0 (–1,9)
5 (28,1)	1,6 (0,6)
10 (33,7)	3,5 (3,6)
15 (39,4)	5,7 (6,9)
20 (45,0)	8,8 (11,4)
25 (50,7)	14,0 (18,4)
28 (54,1) és felette	„végtelen”

A 4. táblázatot alkalmazva a 10–15 éves férfi kutatói életkorra (ami a Bolyai-pályázatok beadásának jellemző kutatói életkora) kb. 4–7 éves életkori elmaradást látunk a női kutatók átlagos eredményeiben. Ez nagyjából összeecseng azzal a Bolyai-szabállyal, miszerint nők esetében a maximális beadási életkor gyermekenként két–két évvel tolható ki, feltételezve, hogy az ilyen korú női kutatóknak átlag két–három gyermekük van. Ebből a szempontból tehát a 4. táblázat visszaigazolja a Bolyai pályázati rendszer

mai gyakorlatát. Felhívjuk ugyanakkor a figyelmet arra, hogy az MTA levelezőtagválasztásnál nem ismerünk hasonló szabályt, pedig a női kutatók a 25–30 év kutatói életkorú férfiakhoz képest (amikor ők, 50–55 éves koruk környékén jellemzően levelező tagokká válnak) már 18 évnél nagyobb életkor lemaradásban vannak. Ez az elmaradás az idősebb női kutatókra a 2. és 3. ábrák eredményeiből adódik össze. Fontos megérteni azonban, hogy ez a hátrány 30–50 év múlva sem fog sokat csökkenni, amikor majd a ma 25 éves női kutatók 55–75 évéssé válnak, hiszen a hátrány nagy részét a női kutatók a 3. ábra értelmében, azaz feltehetően a családalapítás és a gyermekvállalás miatt szedik össze.

Az 5. táblázatban bemutatjuk a 4. táblázat fordítottját, azaz a női kutatók kutatói életkorához húzunk egy függőleges egyenest a 3. ábrán a női kutatók eredményeihez, és onnan egy vízszintes egyenessel kivetítjük a férfi kutatók eredményeit ahhoz, hogy a női kutatók kutatói életkorának függvényében is megkapjuk az ő időbeni elmaradásukat a férfi kutatóktól. Az 5. táblázat első hat sorában lényegében ugyanazt az információt lehet látni, mint a 4. táblázat első hat sorában, csak persze más számértékekkel. Az 5. táblázat annyival informatívabb a 4. táblázatnál, hogy nem tartalmaz „végtelen” eredményű sort, így egészen az 55 év női kutatói életkorig látunk adatokat. A T. Olvasók szabadon eldönthetik, hogy céljaiknak megfelelően a 4. vagy az 5. táblázat adatait használják-e. Természetesen az 5. táblázatban is a (2a–b) egyenleteket használtuk arra, hogy a kutatói életkorokból megbecsüljük a valós életkorokat.

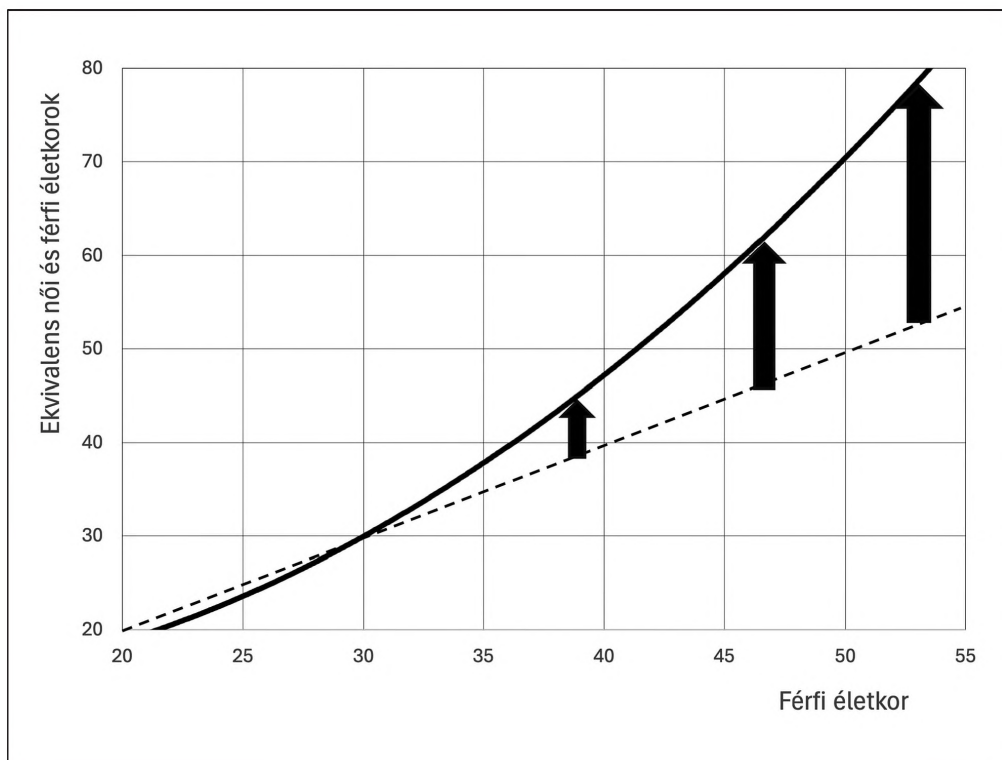
5. táblázat. A női kutatók eredményeiben látható elmaradás kutatói években számolva a férfi kutatókhoz képest, a női kutatók kutatói életkorának függvényében (a 3. ábrán látható és a 2a–b képletekből számolva)

Női kutatók kutatói (és valós) életkora	Női kutatók lemaradása kutatói (és valós) években
0 (20,5)	0 (–1,9)
5 (26,7)	1,2 (0,0)
10 (33,0)	2,5 (2,1)
15 (39,2)	3,9 (4,2)
20 (45,4)	5,5 (6,6)
25 (51,7)	7,3 (9,3)
30 (57,9)	9,3 (12,1)
35 (64,2)	11,7 (15,4)
40 (70,4)	14,6 (19,3)
45 (76,6)	18,2 (23,9)
50 (82,9)	22,5 (29,4)
55 (89,1)	27,6 (35,7)

Az 5. táblázatból azt látjuk, hogy a mai fiatal női kutatók pályájuk kezdetén még némi előnyben vannak férfi kortársaikhoz képest, mivel ebben az életszakaszban még nem

terhelik őket a családdal és gyermekekkel kapcsolatos aggodalmak és tennivalók. Közel hét év után azonban ez az előny elolvad, és attól kezdve a női kutatók egyre nagyobb időhátrányba kerülnek férfitársaikhoz képest. Az 50 ... 70 év korú női kutatók esetében ez az időhátrány már 10–20 életévben mérhető. Ha ezt a hátrányt a női kutatók társadalmilag hasznos tevékenységük (a család és a gyerekek érdekében feláldozott többlet-időráfordításuk) miatt szedték össze, akkor ezt az MTA-n kompenzálni illenék. Ha ugyanis ezt az időhátrányt a levelező tagi választásnál nem vesszük figyelembe, akkor csak nagyon ritkán fogunk tudni olyan női kutatót levelező tagnak választani, aki jobb eredményekkel rendelkezik a saját tudományterületén azonos korú férfitársaikhoz képest, és ebben az esetben félő, hogy konzerválnánk az 1–2. táblázatokban és az 1. ábrán bemutatott helyzetet.

Az 5. ábrán a 4–5. táblázatok adatait mutatjuk be vizuálisan. Innen is azt látjuk, hogy a női kutatók jól indulnak, azaz a húszas éveikben még kicsit jobban teljesítenek férfitársaikhoz képest, de a harmincas éveiktől kezdve a női kutatók ekvivalens életkora (amikor a férfiakkal azonos eredményekkel rendelkeznek) egyre magasabb a férfiak életkorához képest, azaz közöttük az életkori olló fokozatosan szétnyílik.



5. ábra. Az azonos tudományos teljesítményhez tartozó férfi (szaggatott vékony vonal)

és női (vastag vonal) valós életkorok a férfi valós életkor függvényében

Forrás: a szerzők szerkesztése

Szerettünk volna olyan kimutatást is készíteni, amelyben a legjobb 10% (vagy 1%) férfit hasonlítjuk össze minden kutató év halmazában a női kutatók legjobb 10%-ával (vagy 1%-ával). Sajnos azonban az MTMT-ben szereplő, relatíve alacsony női kutatói létszám ezt csak olyan nagy mértékű szórással teszi lehetővé, amelyre értelmetlen e folyóirat oldalait pazarolni. Egy dolog azonban biztos: ezeken az itt be nem mutatott diagramokon a kiváló női kutatók helyzete a kiváló férfi kutatókhoz képest nem jobb annál, mint amit a 3–5. ábrákon és a 4–5. táblázatokban az átlagos kutatókra láthatunk, sőt.

Ezt a cikket nem akarjuk olyan konkrét tanácsokkal zárni, hogy hogyan lehetne az 1–3. táblázatokban és az 1. ábrán látható igazságtalan állapotot hatékonyan elmozdítani egy igazságosabb állapot felé, amelyben a női kutatók aránya 50% közelivé válik nemcsak a magyar diplomások, hanem az MTA tagjai és vezetői között is. Bízunk benne, hogy az MTA vezetőinek bölcsessége a 3–5. ábráink és a 4–5. táblázataink adatait is felhasználva mielőbb megtalálja azokat a már ma is létező intézkedéseket kiegészítő újabb megoldásokat, melyek mielőbb ezen igazságosabb állapot felé vezetnek el mindannyiunkat.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Lamm Vanda alelnöknek, Bollobás Enikő akadémikusnak, valamint a Nők a Kutatói Életpályán MTA Elnöki Bizottság minden tagjának e tanulmány összeállítása során nyújtott értékes segítségükért.

Irodalomjegyzék

- „A Magyar Tudományos Akadémia tisztségviselőinek listája”. *Wikipédia* (letöltés: 2025. ápr. 11.). https://hu.wikipedia.org/wiki/A_Magyar_Tudom%C3%A1nyos_Akad%C3%A9mia_tizs%C3%A9gvisel%C5%91inek_list%C3%A1ja.
- Acsády Judit (2010). „Nők a magyar tudomány fellegvárában: Statisztikai áttekintés és narratív elemzés karrieréről”. *Magyar Tudomány*, 171/11, 1390–1399.
- Acsády Judit – Gábor Csilla (2025). „Nők az MTA tagságában. Az utóbbi évek tendenciái a számok tükrében”. *Magyar Tudomány*, 186/1, 128–140. <https://doi.org/10.1556/2065.186.2025.1.16>.
- Balogh Margit – Palasik Mária, szerk. (2010). *Nők a magyar tudományban*. Budapest: Napvilág Kiadó.
- Bazsa György (2019). „Nők az Akadémián: beszéljenek a számok!” *Magyar Tudomány*, 180/7, 1078–1081. <https://doi.org/10.1556/2065.180.2019.7.14>.
- Csépe Valéria (2008). „Édes teher. Szerepválságban vannak-e a kutatónők?” *Magyar Tudomány*, 169/11, 1396–1403. <http://tinyurl.com/zbq9ahs>.
- Csépe Valéria (2017). „Túl az üveglapon. Reflexiók Somogyi Péter tagtársunk javaslataira”. *Magyar Tudomány*, 178/3, 359–364. http://epa.niif.hu/00600/00691/00162/pdf/EPA00691_mtud_2017_03_359-364.pdf.

- Csermely Péter (2017). „A nők tudományos előmenetele mint felülről korlátozódó hálózatos jelenség”. *Magyar Tudomány*, 178/5, 624–626. https://epa.oszk.hu/00600/00691/00164/pdf/EPA00691_mtud_2017_05_624-626.pdf.
- „Férfiak és nők”. *Központi Statisztikai Hivatal* (letöltés: 2025. máj. 2.). <https://www.ksh.hu/ferfiak-es-nok>.
- Hargittai Magdolna (2016). „Korlátozott pozitív diszkrimináció”. *Magyar Tudomány*, 177/7, 865. <http://netrix.koki.mta.hu/data/cikkek/106/1061/cikk-106118/somogyi.pdf>.
- Hay Diana – Palasik Mária – Schadt Mária, szerk. (2024). *Nők a tudomány fellegvárában – kutatói életutak a Magyar Tudományos Akadémián, 1949–2021*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Kamarás Katalin (2016). „Nők az Akadémián”. *Magyar Tudomány*, 177/7, 866. <http://netrix.koki.mta.hu/data/cikkek/106/1061/cikk-106118/somogyi.pdf>.
- Kaptay, George (2020). „The K-Index Is Introduced to Replace the H-Index to Evaluate Better the Scientific Excellence of Individuals”. *Heliyon*, 6/7, e04415. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04415>.
- Lamm Vanda (2016). „Nők az Akadémián”. *Magyar Tudomány*, 177/7, 867. <http://netrix.koki.mta.hu/data/cikkek/106/1061/cikk-106118/somogyi.pdf>.
- Lamm Vanda – Nagy Beáta (2019). „2019 ismét a »nők éve« az Akadémián – törekvések a nők tudományos pályafutásának támogatására”. *Magyar Tudomány*, 11, 1649–1665. <https://doi.org/10.1556/2065.180.2019.11.6>.
- Németh Brigitta et al. (2023). „Egyenlőtlenségek a magyarországi fiatal kutatók között: tanulságok a Fiatal Kutatók Akadémiájának 2021-es felméréséből”. *Magyar Tudomány*, 184/12, 1529–1543. <https://doi.org/10.1556/2065.184.2023.12.10>.
- Pető Andrea (2018). „Nők a tudományban”. *Magyar Tudomány*, 179/4, 550–565. <https://doi.org/10.1556/2065.179>.
- Somogyi Péter (2016). „Alkalmasak-e a magyar nők az MTA tagságára?” *Magyar Tudomány*, 177/7, 862–864. <http://netrix.koki.mta.hu/data/cikkek/106/1061/cikk-106118/somogyi.pdf>.
- Somogyi Péter (2017). „A számok beszélnek. Válasz az »Alkalmasak-e a magyar nők az MTA tagságára« c. cikkemre érkezett hozzászólásokra”. *Magyar Tudomány*, 178/5, 627–630. https://epa.oszk.hu/00600/00691/00164/pdf/EPA00691_mtud_2017_05_627-630.pdf.
- Szilágyi Adrienn (2023). *A Magyar Tudományos Akadémia elnökei és főtítkárai*. Budapest: MTA.
- Wilhelm Imola et al. (2023). „A Fiatal Kutatók Akadémiájának javaslatai a magyarországi fiatal kutatók helyzetének javítására”. *Magyar Tudomány*, 184/12, 1544–1565. <https://doi.org/10.1556/2065.184.2023.12.11>.

Egy konferencia margójára
*A gyermek, a család és a nemzet oltárán feláldozott alkotói éveket
a női kutatóknak vissza kell kapniuk*

In the Margins of a Conference
*The Creative Years Sacrificed on the Altar of Children, Family, and Nation Must
Be Returned to Women Researchers*

Kurutzné Kovács Márta

az MTA rendes tagja, Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya, Budapest
professor emeritus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar
Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, Budapest
kurutm@eik.bme.hu

Összefoglalás

Nem könnyű összeegyeztetni a nők gyermekvállalását a sikeres tudományos karrierrel, főleg ha a megszületett gyermekek gondozásán túl még azt is figyelembe vesszük, hogy mi történik a nőkkel a fogantatás és a születés között. Amit csakis egyedül nekik, a nőknek kell véghez vinni, többnyire végigszenvedni. Ennek – a család és a nemzet oltárán tett nagy áldozatvállalásnak – a nők alkotói éveiből kiragadott időnek a nők számára meg kell térülnie. A megtérítés lehetőségeiről szól ez a cikk.

Abstract

It is not easy to reconcile women having children with a successful career in science, especially when you consider what happens to women between conception and birth, in addition to caring for the children they have. What they alone, women, have to go through, mostly have to endure. The time taken from women's creative years—the great sacrifices made on the altar of family and nation—must be rewarded for women. This article is about the possibilities of compensation.

Kulcsszavak: Nők a Kutatói Életpályán Elnöki Bizottság, tudományos pálya és gyermekvállalás, fogantatás, születés, veszélyeztetett terhesség, meddőség, mesterséges megtermékenyítés, magzat, gyermek

Keywords: Presidential Committee on Women in Science, scientific career and having children, conception, birth, high-risk pregnancy, infertility, artificial insemination, fetus, child

A Magyar Tudományos Akadémia Elnökségétől felkérést kaptam, hogy a Nők a Kutatói Életpályán Elnöki Bizottsága tagjaként a Magyar Tudomány Ünnepe, 2024. november 7-én a „Tudományos pálya és gyermekvállalás” című konferencia levezető elnöke és az előadásokat követő kerekasztal-beszélgetés moderátora legyek. A konferencián történekről, valamint a női kutatóknak nyújtandó, új alapokra helyezett lehetséges segítségről szeretném megosztani a *Magyar Tudomány* olvasóival a gondolataimat és a javaslataimat.

A konferencián hat kiváló előadást hallottunk a megadott témakörben.¹ Nyolc tudományos kutatással foglalkozó fiatal nő adott elő, társadalomtudósok, szociológusok, bölcsesek, statisztikusok. Az előadásokat követő kerekasztal-beszélgetésre készülve azt terveztem, hogy vitaindítóként ismertetem a magyar akadémikusnők gyermekvállalásáról készült kimutatásunkat, amelyet akadémikus nőtársaimmal korábban készítettünk.

Az Akadémia történetében mindeddig előfordult 52 akadémikusnő közül 9-nek nem volt gyermeke, 10-nek egy, 28-nak kettő, 5-nek három, háromnál több gyermeke egyetlen akadémikusnőnek sem született. Felrajzoltam az akadémikusnők gyermekeinek a sűrűségfüggvényét is. Furcsának találtam, hogy a függvény bal oldali része nem simul bele a vízszintes nulltengelybe, pedig a biostatistika szerint a természetes biológiai folyamatok sűrűségfüggvénye rendszerint a normál eloszlás haranggörbéjét követi. Ezen elmélkedve arra gondoltam, hogy a negatív tartományban is kellene lennie értékeknek. S ekkor rádöbrentem, hát persze: az élet nem a születéssel, hanem a fogantatással kezdődik! Ha kiegészítenénk a görbét ezekkel a valóban negatív eseményekkel, amelyek a fogantatás és a születés között történnek velünk, nőkkel, a veszteségeinkkel, a megfogant, de meg nem született – negatív – gyermekeinkkel, akkor a sűrűségfüggvényünk valóban közelíthetne a haranggörbéhez.

Ezzel feltárult előttem a nők egész szenvedéstörténete, és az, hogy ez pontosan abban a női életszakaszban történik, amikor a tudományos kutatásnak és karriernek kezdődnie és intenzíven felívelnie kellene. Ez a veszteségeink időszaka, a spontán vetélések, az abortuszoké és a meddség elleni küzdelemé: a mesterséges megtermékenyítés reményteli és reményvesztett hetei, hónapjai, évei. De mindez rejtve van, soha senki nem beszél erről! A hat előadásban egyetlen szó se esett róla, senkinek eszébe se jutott, hogy a szülés előtti időszakot kutassa, még a statisztikusoknak se! Talán mert ez valóban nagyon intim magánügy, az Akadémián sem beszéltünk erről soha.

Pedig pontosan ekkor vész el a női életből sok-sok alkotói év és energia! Hogyan lehet ezek után újrakezdeni a kutatást?! Ha valaki veszélyeztetett terhesként öt-hat hónapon át fejjel lefelé fekszik egy felpolcolt lábú kórházi ágyon, aligha fog a kutatásain elmélkedni, amikor a gyermeke és esetleg a saját élete forog kockán! A sok elvesztett év után csak a legkitartóbbaknak sikerülhet az újrakezdés, kivéve ha időben, jó előre tudatosítjuk széles körben, hogy visszaadjuk az éveket, visszaadjuk az időt, amit a gyermek érdekében a család – és az ország! – oltárán a nők feláldoznak! Hogy mindenütt, ahol életkori határok vannak előírva, a nőkre jelentősen magasabb korhatárt

¹ Makay Zsuzsanna–Szabó Laura: „A termékenység és az iskolai végzettség összefüggései Magyarországon a 2000-es években”; Paksi Veronika–Tardos Katalin: „Esélyegyenlőségi tervek és a gyermekvállalás. Adatok az agrár- és élettudományok területéről”; Kéri Katalin: „Karrier és/vagy család? Tanult nők lehetőségei a 19–20. század fordulóján”; Acsády Judit: „A kutatói életpályákról szóló narratívák vizsgálata”; Gábor Csilla: „Nem a sikerre hajtok, tudod? Inkább arra, hogy jól legyenek, hogy megtaláljam a helyem.» Kutatónők portréi Erdélyben – egy női magazin tudósinterjúinak tanulságai”; Solymosi Katalin: „A Fiatal Kutatók Akadémiája 2018-as és 2021-es felméréseinek eredményei és a Mother in Science mozgalom bemutatása”.

írunk elő! A gyerektelenekre is, mert nem tudhatjuk, hogy például közülünk, az akadémikusnők közül is, ki hány magzatát veszítette el, míg a diagramunkban az a magas, csaknem 20%-os gyermektelenséget jelző kilences szám megjelent. Mindezeket a gondolataimat a kerekasztal-beszélgetés előtt röviden elmondtam a konferencián.

S hogy mennyire fontos és időszerű téma ez, mutatja, hogy a konferencia végén az egyik előadónk félrehívott. Egy sarokba mentünk, ahol a vállamra borulva könnyek között mondta el, hogy háromszor veszítette el a lombikos babáját, majd utána spontán született egy fia, de ezzel tíz évet veszített el az alkotói éveiből, tíz reménykedéssel és szenvedéssel teli évet, a 28 és 38 év közötti éveit, és a kutatói pályája derékba tört. Megköszönte, hogy erről szóltam, mert ezzel megtört a jég, hiszen erről soha senki nem beszél. Hangsúlyozta, hogy neki nagyon sokat jelent, hogy végre valaki nyilvánosan szólt erről a létező, fájdalmas, rejtett, de nagyon fontos kérdéstről.

Úgy gondoltam, ha az Akadémia felkért engem a fenti moderátori szerepre, kötelességem elindítani egy érdemi eszmecserét a tapasztalataimról az Akadémián. Arról, hogy az Akadémia a korábbi segítségnyújtása, a megszületett gyermekek gondozásának kompenzálása mellett foglalkozzon ezzel a mindeddig rejtett kérdéssel is, országosan is úttörő módon, új alapokra helyezve a kutatónők elismerését, és a nekik nyújtandó segítséget. Mert ezt a gyermekért folyó szenvedéssel teli küzdelmet a nők senkire nem ruházhatják át, nekik kell véghez vinniük, egyedül, és pontosan a kutatásra legalkalmasabb életszakaszukban veszítve el az alkotói éveiket a tudományos kutatói előrehaladásukból. Ezeket az éveket, a gyermekgondozással eltöltött évekkkel együtt a nőknek vissza kell kapniuk, és erről jó előre értesülniük kell, hiszen ez a veszteség semmi mással, kizárólag idővel, évekkal kárpótolható, és ezeket az éveket életpályamodelljükben előre tervezniük kell.

Ez a kárpótlás természetesen nem jelentené azt, hogy az érintettek személyes életébe beleavatkoznánk, magánügyeikben vágjárnánk. Mindössze egy évben kifejezett számot kell meghatároznunk, amelyet minden női kutatóra azonosan alkalmaznánk. Természetesen más-más kompenzációs évet adnánk meg az egyes életkori korláttal is rendelkező eseményekre, például kutatói pályázatok, ösztöndíjak, majd legvégül az MTA levelező tagsági jelölése esetén. A levelező tagsági jelölés esetére a nőknek a tízéves kompenzációs időt javaslom, minden egyéb ezt megelőző, életkori korláttal terhelt eseményre ennél arányosan kevesebb kárpótlási év lenne adható.

Ugyanakkor a felsőoktatásban dolgozó kutatónők esetén a kutatóintézeti kutató-nőkhöz képest bizonyos többletkompenzációs időt kell megadnunk, mert nem mindegy, hogy valakinek elsődleges munkaköri kötelessége a kutatás, vagy a kutatást csak az elsődleges – és meglehetősen leterhelő – oktatói munkáján túl végezheti. Visszaemlékszem, sok évvel ezelőtt, amikor a műegyetemi bölcsődéből és óvodából hazafele ballagtam a három gyermekemmel, táskámban a 400, éjszakánként javítandó mechanika zárthelyivel, aligha törhettem a fejemet az éppen aktuális kutatói ötleteimen...

Ami a nőkre egységesen alkalmazandó kompenzációs időt illeti, indokolhatja az akadémikus férfiak és nők aránya is: az alapítása óta eltelt idő alatt összesen 3306 fő, 3254 férfi, és 52 nő tagja volt az Akadémiának. Igaz, hogy az előbbi szám 200 év alatt,

az utóbbi 76 év alatt született, azonban ez a méltányosság a férfiak részéről mindenképpen elvárható. Nemcsak azért, mert az etikát és a személyiségi jogot mélyen sértené, ha a családok magánügyeibe tartozó intimításokkal foglalkoznánk, hanem az ország – és a férfiak – érdekében is! Hiszen az előre tervezhető kárpótlási idő bevezetése nyomán várható lesz, hogy a családokban a kutatónőknek is több gyermekük születik, ami a férfiak érdeke is. Ugyanakkor határozottan leszögezzük, hogy a tudományos teljesítésre vonatkozó feltételeknek változatlanul a férfiakéval azonos elbírálás alá kell esniük.

Természetesen a fent részletezett gondolataimat és javaslataimat az Akadémia Elnöksége elé tártam, kérve a téma napirendre tűzését.

És ekkor jött a *Deus ex machina*! Pár nappal azután, hogy magányos farkasként a fenti javaslataimat az Elnökség elé vittem, érkezett hozzám egy levél akadémikustársamtól, Kaptay Györgytől Miskolcra. Ebben arról értesített, hogy kollégájával, Palotás Árpád Bence professzorral érdekes eredményre vezető matematikai kutatást végeztek a Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) tudományometriai és életkori adatai alapján a nők és férfiak helyzetének összehasonlításáról a tudományban. Kutatásuknak ezt a címet adták: „A nők helyzete a tudományban az MTMT szerint és egy javaslat a helyzet javítására.” Tanulmányukról a véleményemet kérték, tudva, hogy a nőkkel foglalkozó Elnöki Bizottság tagja vagyok. Precíz matematikai elemzésüket olvasva valósággal elképedtem, amikor végkonklúziójukban ezt állapították meg: „[a] számolt h-indexben mért tudományos kiválóságban a nőkutatók kb. 10 éves hátrányba kerülnek férfitársaikhoz képest abban az életkorban (50–60 év), amikor azok jellemzően levelező tagokká válnak”. Micsoda megdöbbenő égi üzenet! Alig hittem a szememnek! Két egymástól teljesen független, teljesen más irányból közelítő, gyökeresen eltérő módszer alapján levont következtetés ugyanúgy kompenzációs időt kér, és ugyanazt a 10 éves kárpótlási időt javasolja a nők számára az akadémikussá válás esetére! Szinte hihetetlen!

Elképedésemet azonnal tett követte: tanulmányukat a Nők a Kutatói Életpályán Elnöki Bizottságnak továbbítottam, amely felkérte a szerzőket arra, hogy tanulmányukat egészítsék ki úgy, hogy számításaik ne csak a levelező tagsági jelölés esetére, hanem bármely életkori korláttal rendelkező korábbi esemény esetére is megadják a nőkre vonatkozó kompenzációs időt. A Bizottság az én javaslatommal együtt mindkét javaslatot megtárgyalta, és egyesítve azokat, egyhangú támogatással terjeszti az Elnökség elé.

Őszintén remélem, hogy közös előterjesztésünk az Akadémián megértésre talál.

TANULMÁNYOK

A kutatás „sikermodellje”: a Francia Nemzeti Tudományos Kutatási Központ tudományos teljesítménye az Európai Kutatói Tanács pályázatok elnyerésének tükrében

The “Success Model” of Research: The Scientific Performance of the French National Centre for Scientific Research in the Context of European Research Council Grants

Sasvári Péter¹ – Lendvai Gergely Ferenc²

¹ PhD, dr. habil., egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest; Miskolci Egyetem, Miskolc
sasvari.peter@uni-miskolc.hu

² PhD-hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest
lendvai.gergely.ferenc@stud.uni-nke.hu

Összefoglalás

A tanulmány a francia Nemzeti Tudományos Kutatási Központ (CNRS) teljesítményét vizsgálja az Európai Kutatási Tanács (ERC) támogatásainak megszerzésében. ERC-és Scopus-adatbázisból származó adatok alapján dolgoztunk a 2019–2023-as és a 2007–2023-as időszakra vonatkozóan. Az eredmények azt mutatják, hogy a CNRS az ERC-támogatások terén magas sikerességi rátával rendelkezik, különösen a természet- és műszaki tudományok kategóriában, és más kiemelkedő európai kutatóintézeteknél is jobban teljesít. Emellett a CNRS központosított és kooperatív rendszere jelentősen hozzájárul ahhoz, hogy kutatói sikerrel pályázzanak rangos ERC-támogatásokra. A tanulmány kiemeli, hogy a CNRS stratégiai szempontból különösen fontos szerepet játszik a fiatal tehetségek felkarolásában és a magas színvonalú kutatás támogatásában a kutatói karrier minden szakaszában.

Abstract

The study examines the performance of the French National Centre for Scientific Research (CNRS) in securing European Research Council (ERC) grants. The methodology involved analysing ERC winner data from the Scopus database for the periods 2019–2023 and 2007–2023. The results indicate that CNRS has a high success rate in ERC grants, particularly in the Physical and Engineering Sciences category, and outperforms other prominent European research institutions. Additionally, CNRS's centralized and cooperative approach significantly contributes to its researchers' success in securing prestigious ERC grants. The study underscores the importance of CNRS's strategic focus on fostering young talent and supporting high-quality research across career stages.

Kulcsszavak: CNRS, ERC, kutatási modell, interdiszciplináris együttműködés, intézményi teljesítmény

Keywords: CNRS, ERC, research model, interdisciplinary collaboration, institutional performance

A CNRS

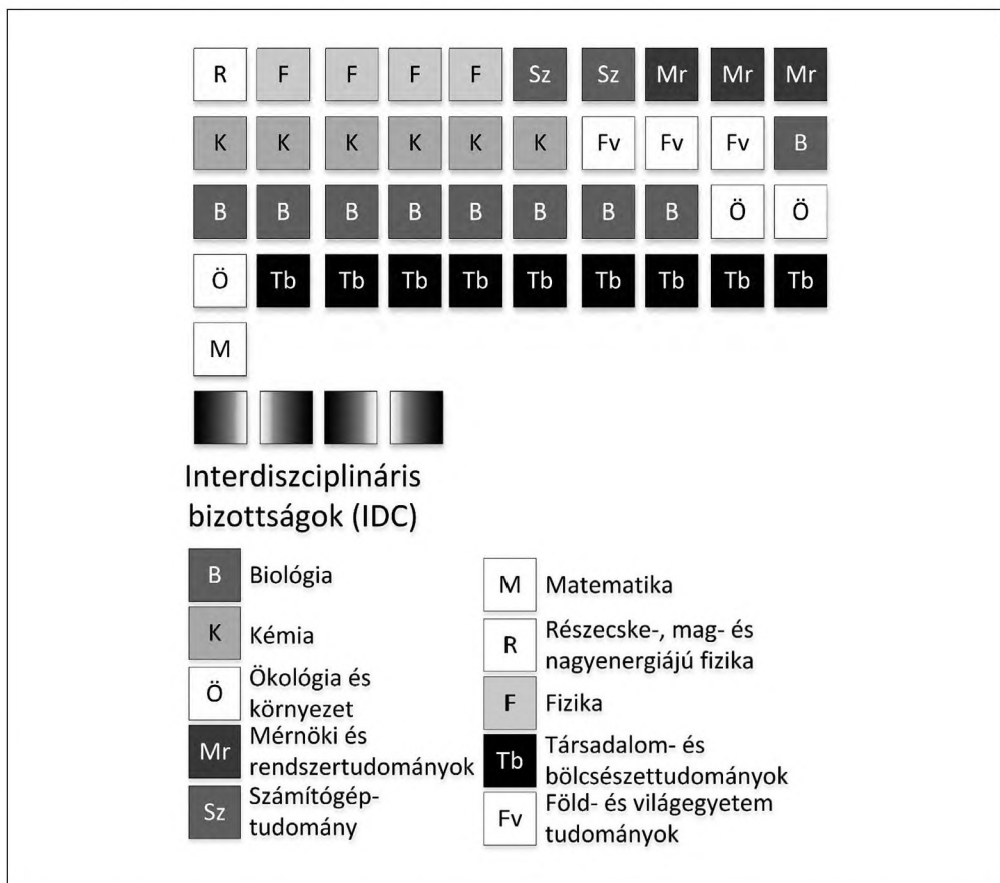
Tanulmányunkban a Francia Nemzeti Tudományos Kutatási Központ (Centre national de la recherche scientifique, CNRS) kutatási modelljének és intézeti szerkezetének sikerességét mutatjuk be az Európai Kutatói Tanács (European Research Council, ERC) pályázatok kontextusában. A CNRS-t 1939-ben hozták létre azért, hogy különböző tudományágak kutatásait koordinálja, központosítsa a széttagolt kutatási tevékenységeket, illetve strukturált keretet biztosítson a tudományos kutatások számára, elősegítve ezzel a hatékonyabb forrásfelhasználást és az együttműködést különböző tudományterületeken (Beck 1996; Carrillo–Montesi 2018). Kyungwhan Oh (2018) ezt a jelenséget a „planification” kifejezéssel írja le, amely a kiemelt állami szerepvállalással zajló hosszú távú központi, illetve stratégiai tervezést jelenti, és amelynek célja a nemzeti tudományos teljesítmény és sikeresség növelése.

A *planification* alapja az interdiszciplináris kutatás, amely a CNRS működésének alappillére. Az interdiszciplinaritás előmozdítását az Interdiszciplináris Kutatás és Transzverzális Akciók Missziója (Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires) támogatja a CNRS összes tudományágában, elősegítve a különböző tudományos területek közötti együttműködést (Vantard–Galland–Knoop 2023). Az új területek elismerése a CNRS stratégiájának egy másik fontos aspektusa. Georges-Louis Baron és Pierre-E. Mounier-Kuhn (1990) a számítástechnika (computer sciences) integrálását hozza fel példaként, amelyet a kezdeti ellenállás ellenére végül az 1970-es évek közepére teljes mértékben integrált a CNRS, így a számítástechnika teljes elismerést nyert mint önálló kutatási terület.

A CNRS Európában és világszerte is kiemelkedik a publikációs teljesítményben. Összesen 207 049 dokumentumot indexáltak a Scopus-adatbázisban 2006 és 2015 között (ez a szám 516 077 publikációra emelkedett 2023-ra), amely a CNRS kiterjedt kutatási infrastruktúráját és széles tudományterületi lefedettségét tükrözi (Carrillo–Montesi 2018). A szerzők azt is megállapították, hogy 2006 és 2015 között a nagy európai kutatóintézetek, mint az MPG (Max-Planck-Gesellschaft, Németország), a CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Olaszország), a HG (Helmholtz-Gemeinschaft, Németország) közül a CNRS volt a vezető kutatási szervezet Európában és globálisan is.

A CNRS kutatóinak toborzását és értékelését a Tudományos Kutatási Nemzeti Bizottság (Comité national de la recherche scientifique, CoNRS) irányítja. A CoNRS 41 tudományos szekcióra és öt interdiszciplináris bizottságra van felosztva, minden szekció 21 tagból áll, akik különböző háttérből érkeznek, beleértve a CNRS kutatóit, más köz- vagy magánszektorból származó kutatókat, külföldi kutatókat és egyetemi professzorokat. A tagok egyharmadát a Kutatási Minisztérium nevezi ki, míg kétharmadukat az adott terület kutatói választják meg (Carrillo–Montesi 2018). Ez a választási folyamat biztosítja a tudományos irányítás felügyeletét, és garantálja a kutatás függetlenségét. Az állásokat „célzott” vagy „nyílt” kategóriákba sorolják, a célzott állások speciális versenyek részeként jelennek meg. A toborzási folyamat több szakaszból áll, beleértve a pá-

lyázatok kiválasztását, interjúkat és a végső rangsorolást, amelyet a CNRS vezetésének nyújtanak be (Vilkas 1996; Baron–Mounier-Kuhn 1990).



1. ábra. A CNRS szervezeti struktúrája, amely tíz tudományági intézetből áll
Forrás: saját szerkesztés

Fontos megemlíteni még a CNRS doktori programjait és együttműködési stratégiáját. A CNRS-hez csatlakozni kívánó doktori hallgatóknak először be kell iratkozniuk egy doktori programba egy francia egyetemen, amely kezeli képzésük adminisztratív kérdéseit, és partnerségi kapcsolatot ápol a CNRS-egységekkel. A doktori hallgatók finanszírozása különböző módokon érhető el, beleértve a versenyképes CNRS doktori szerződéseket és projektspecifikus finanszírozást köztestületektől („Assessment Report of the CNRS” 2023). Ezenfelül a CNRS az ipari képzés kutatási szerződéseken keresztül (Convention industrielles de formation par la recherche, CIFRE) lehetővé teszi a doktoranduszoknak, hogy vállalatoknál dolgozzanak, miközben a CNRS-laboratóriumokkal együttműködve folytatnak kutatásokat.

A CNRS az együttműködések tekintetében is vezető Európában (Oh 2018). A CNRS kiemelkedik a kooperatív publikációk magas számával és a külföldi intézetekkel való kiterjedt hálózatokban való működéssel (Carrillo–Montesi 2018). E tekintetben Koen Jonkers és Laura Cruz-Castro (2010) is a CNRS Vegyes Nemzetközi Egységeire (Mixed International Units, UMI) hívják fel a figyelmet, amelyeket három pillér jellemez:

- közös kutatási egységek, amelyek tulajdonjogát a CNRS és egy külföldi partner osztja meg,
- jelentős források és hosszú távú együttműködési kapcsolatok, és
- szakértői csapatok létrehozása.

A CNRS a *Hcéres* 2023-as beszámolója („Assessment Report of the CNRS” 2023) alapján 2023-ban 3,7 milliárd eurós alapból tartotta fenn magát, amelynek a nagy része közfinanszírozásból eredt. A CNRS büdzsége minden évben emelkedett egészen 2024-ig, amikor a francia kormányzat úgy döntött, hogy jelentős megszorításokat kezdeményez a közpénzek tekintetében. Ennek eredményeként 904 millió eurót vontak meg a tudományfinanszírozástól, amelynek részeként a CNRS és egyéb intézetek előirányzatai 383 millió euróval csökkentek (Casassus 2024).

Az ERC rövid története és jelentősége

A 2006-ban létrehozott ERC-t a kutatás – futballhasonlattal élve – „Bajnokok Ligájának” tekintik (Guinnessy 2007; Griffiths 2007); a 2021 és 2027 között 16 milliárd eurós keret felett rendelkező szervezet ugyanis évente hirdet pályázatot arra, hogy a legkülönbözőbb tudományterületek legkiválóbb kutatóinak munkáját támogassa (Heldin 2008; Groß–Karaalp, 2015). Az ERC az első és legnagyobb szupranacionális – vagyis hatásköre és befolyása meghaladja az egyes tagállamok határait – szinten működő európai alapkutatás-finanszírozó szervezet. A kutatások kiválasztásának egyetlen szempontja a kiválóság, a pályázatok pedig igen kompetitívek (Groß–Karaalp 2015).

Martin Griffiths (2007) és Carl-Henrik Heldin (2008) szerint az ERC-t alapvetően két ismerv különbözteti meg a többi kutatástámogató szervezettől. Egyrészt az ERC minden tudományterületet és -ágat támogat, azaz holisztikusan tekint a tudományra és annak finanszírozására. Másrészt az ERC az együttműködések helyett az egyénekre, az alkalmazott kutatás helyett az alapkutatásra helyezi a hangsúlyt, így elsősorban az egyéni kiválóságot kívánja támogatni és nem hálózatokat (Heldin 2008). Az ERC-pályázatok sajátossága még, hogy a pályázati alkalmasság az intézethez és nem a kutatók nemzetiségéhez kötött, így bárki, aki az Európai Unió vagy a Horizon Europe-hoz csatlakozott harmadik ország területén („List of Participating Countries...”) működő intézetekben kutat, és megfelel a személyi feltételeknek, pályázhat ERC-re. Az ERC öt pályázati lehetőséget biztosít (1. táblázat).

1. táblázat. Az Európai Kutatási Tanács (ERC) pályázati típusai és jellemzőik

Pályázati típus neve	Milyen kutatóknak szól?	Pályázási feltétel	Elnyerhető összeg	Idő-tartam
Starting Grant	kezdő	PhD megszerzését követő 2–7 éven belül pályázható	1,5 M euró, amely 1 M euróval kiegészíthető	5 év
Consolidator Grant	haladó	PhD megszerzését követő 7–12 éven belül pályázható	2 M euró, amely 1 M euróval kiegészíthető	5 év
Advanced Grant	szenior	PhD megszerzését követő 12 évet követően pályázható	2,5 M euró, amely 1 M euróval kiegészíthető	5 év
Synergy Grant	2–4 vezető kutató (csoport)	2–4 fős csoport megléte	10 M euró, amely 4 M euróval kiegészíthető	6 év
PoC (Proof of Concept)	ERC-nyerteseknek, hogy piacra tudják vinni az eredményeket	ERC elnyerése	150 000 euró	1,5 év

Forrás: saját szerkesztés az ERC alapján

Hatását tekintve az ERC egyedülálló a világon. Barbara Hoenig (2018) kiemeli, hogy az ERC átformálta a tudomány társadalmi szerveződését, befolyásolta a nemzeti állami tudományos rendszereket, és hozzájárult új nemzeti, európai és globális szintű kutatási tanácsok létrehozásához is. Bár az ERC megítélése összességében pozitív (Beerkens 2018), a kifejezetten a versenyre és a kiválóságra helyezett hangsúly aggodalmakat vetett fel a határokon átnyúló együttműködésre és az interdiszciplináris kutatás előmozdítására gyakorolt hatásával kapcsolatban: egyes kutatók szerint ugyanis az egyéni kiválóságra való összpontosítás akadályozhatja az együttműködési erőfeszítéseket és az interdiszciplináris projekteket (Hoenig 2018).

A kutatás célja és a módszertan

Kutatásunkban azt elemeztük, hogy mennyire sikeres a CNRS az ERC-pályázatok kontextusában, azaz mennyiben segíti elő a CNRS által felvázolt és kiépített kutatási pályamoddell, hogy el lehessen nyerni a legrangosabb tudományos pályázatot. Három kutatási kérdést vizsgáltunk:

- K1: Milyen trendek figyelhetőek meg a CNRS ERC teljesítményében a különböző pályázati típusok kapcsán?
- K2: Milyen „sikerességi” eltérés figyelhető meg a CNRS és más országok intézetei között?

- K3: Milyen intézeti és tudományos hálózatokkal és előmenettel rendelkeznek az ERC-nyertes CNRS-hez affiliált kutatók?

A kutatáshoz a Scopus-adatbázist használtuk. Az adatbázisból lekértük a 2019 és 2023 közötti az ERC-nyertesek listáját ($N = 5795$), illetve a globális összehasonlításához a 2007 és 2023 közötti időszakban ERC-t nyert kutatók névsorát ($N = 15\,855$). A sikeres pályázatokat – összhangban az ERC-pályázat kritériumaival – három kategóriára osztottuk:

- Life Sciences (LS) – Élettudományok,
- Physical and Engineering Sciences (PE) – Természet- és műszaki tudományok,
- Social Sciences and Humanities (SH) – Társadalom- és bölcsészettudományok.

Egyes vizsgálatoknál figyelembe vettük az FWCI-t (Field-Weighted Citation Impact), amely egy publikációalapú, területnormalizált mérőszám, amelyet a kutatási cikkek idézettségi hatásának mérésére használnak (Jang 2021). Az FWCI az idézetszámhoz képest szofisztikáltabb mérőszám, mivel azt mutatja, hogy egy szerző publikációi milyen, hivatkozásszámban kifejezett hatással vannak egy adott tudományterületre. Ha az FWCI értéke 1,00-nél nagyobb, akkor több hivatkozás érkezett a publikációra a többi, azonos területen született közleményhez képest (Dobos–Sasvári 2021). Figyelembe vettük még a hálózatok elemzésénél az átlagos publikációnkénti idézésszámot (ÁPI), amely az összes publikáció és az összes idézet osztásának eredménye.

Az intézeti hálózatokat Pythonnal – amely egy általános célú programozási nyelv –, automatizálva kértük le minden franciaországi kutató esetében, utólag manuálisan verifikáltuk az automatizálás eredményeit. A vizualizációkat Excellel, illetve Pythonnal készítettük.

Eredmények

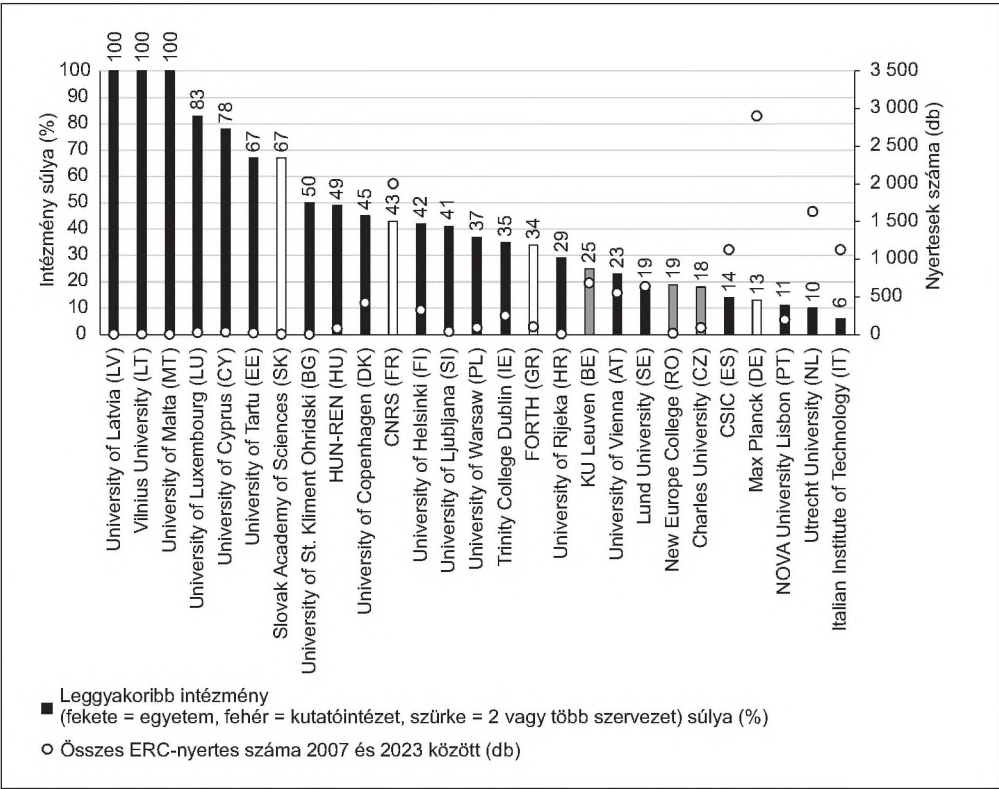
Elsőként az ERC-nyerteseket vizsgáltuk a rendelkezésre álló összes adat fényében 2007 és 2023 között ($N = 15\,855$). A nyertesek eloszlása erősen a PE felé tolódik el, amely a legtöbb támogatást kapta (7216), az összes támogatás 45,5%-át. Ezt követi az LS 5145 pályázattal, ami 32,5%-ot jelent összelosztásban, míg SH-területen 3304 nyertes pályázat született, amely az összes támogatás 20,8%-át teszi ki. A *Synergy Grantek*, amelyek együttműködési jellegük és kiemelt keretük miatt egyedülállóak, az összes támogatás 1,2%-át tették ki (190). A *Starting Grantek* a leggyakoribbak, e kategóriából 6345 darabot ítéltek oda, túlnyomórészt a PE területén (2. táblázat).

A nyerteseket ezt követően országok szerint csoportosítottuk. A 2. ábrán az országok mellett kiemeltük azt az intézetet is, amely arányaiban az adott országban a legtöbb ERC-t nyerte 2007 és 2023 között. Megkülönböztetést tettünk az egyetemek és a kutatóintézetek között is, ezzel szemléltetve a CNRS kiemelkedő jelentőségét. A CNRS nemcsak magas százalékos franciaországi sikerességaránya (43%), hanem az általa támogatott összes ERC-támogatásban részesülők jelentős száma miatt is kiemelkedik. Reflektálva Jairo Maldonado Carrillo és Michela Montesi (2018) eredményeire, a CNRS továbbra is vezető mind intézeti szinten, mind sikerességben (2. ábra).

2. táblázat. Az ERC-nyertesek száma és megoszlása tudományterületenként és típusonként 2007 és 2023 között

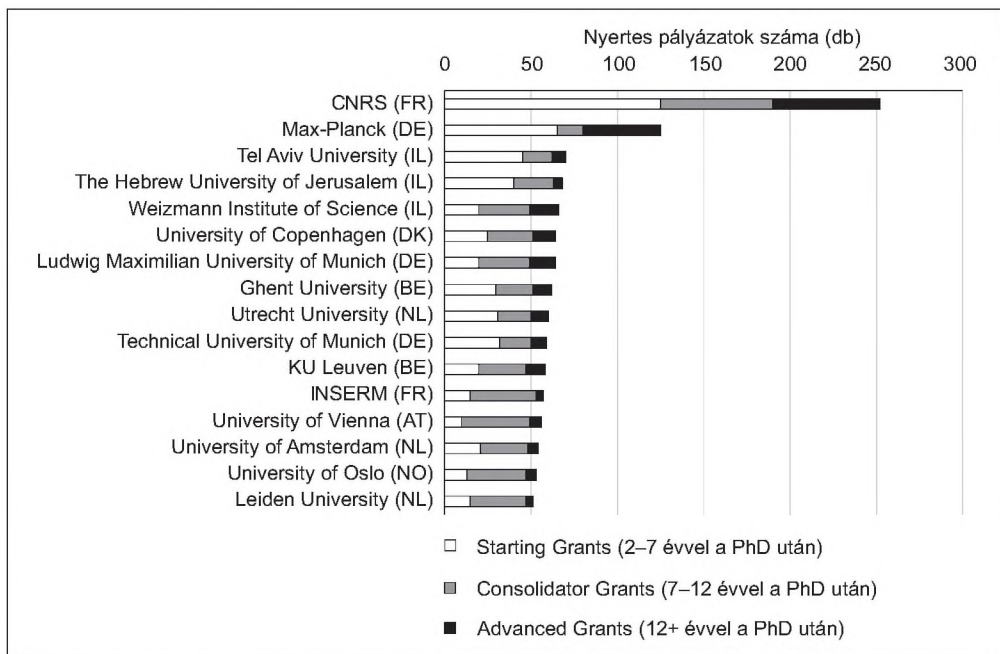
Nyertes pályázatok száma (db)	Élettudományok (LS)	Természet- és műszaki tudományok (PE)	Társadalom- és bölcsészettudományok (SH)	Synergy	Összesen
Starting Grants	2052	2814	1479	0	6345
Consolidator Grants	1097	1553	846	0	3496
Advanced Grants	1329	1778	831	0	3938
Proof of Concept	667	1071	148	0	1886
Synergy Grants	0	0	0	190	190
Összesen	5145	7216	3304	190	15 855

Forrás: saját szerkesztés az ERC alapján



2. ábra. Az ERC-nyertesek száma az Európai Unió országaiban, azon belül a leggyakoribb intézetek neve és súlya 2007 és 2023 között
Forrás: saját szerkesztés ERC-adatok alapján

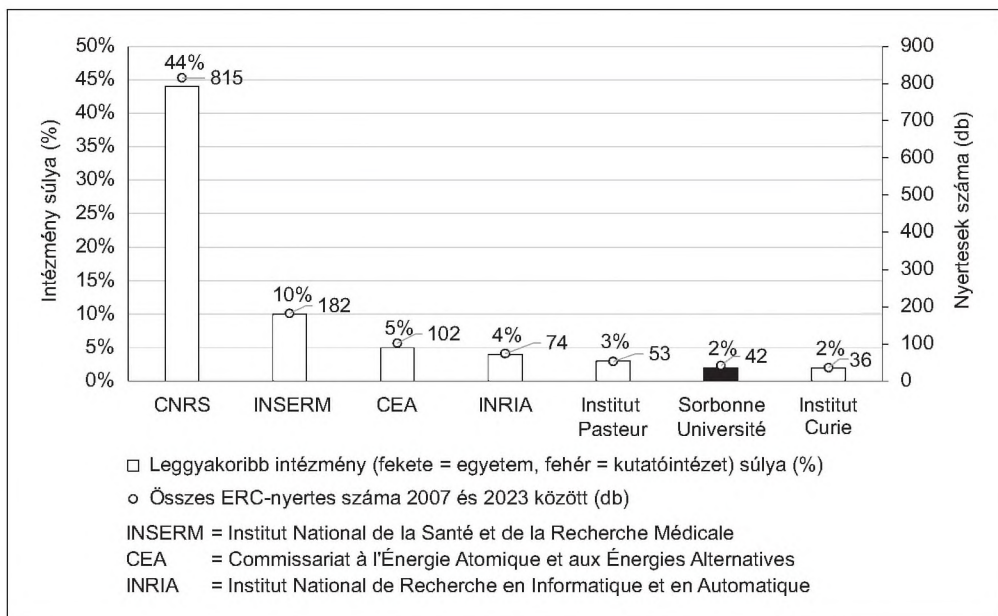
Franciaországban az elmúlt öt évre fókuszálva megállapítható a CNRS teljes dominanciája mind a három legnépszerűbb egyéni pályázati típusnál. A CNRS minden támogatásnál jól teljesít, az összes európai és csatlakozó harmadik állambeli egyetemet és kutatóintézetet (INSERM [Institut national de la santé et de la recherche médicale], MPG) megelőz a nyertes ERC-pályázatok számában. Fontos megemlíteni Izraelt is, amely lakosságát nézve (9,558 millió) elmarad Franciaországtól vagy Németországtól, mégis, az utóbbi öt évben páratlanul sikeresen teljesítettek intézeteinek kutatói az ERC-pályázatokon (3. ábra).



3. ábra. Intézetek sorrendje a támogatott ERC-pályázatok száma alapján 2019 és 2023 között
Forrás: saját szerkesztés ERC-adatok alapján

Kifejezetten Franciaországra nézve megvizsgáltuk az intézetek eloszlását a sikeres, 2007 és 2023 közötti ERC-pályázatoknál. A CNRS kiemelkedik a támogatások jelentős, 43%-os részesedésével ($N = 815$), amely a legdominánsabb kutatóintézetté teszi Franciaországban. A CNRS-t az INSERM követi 10%-os részesedéssel és 182 nyertes-sel. Az INSERM mellett további, főleg PE- és LS-területeken működő kutatóintézetek kutatói nyertek számottevő mennyiségben ERC-támogatást.

Franciaországot egyedülállóvá teszi az egyetemek közel teljes hiánya az ERC-nyertesek tekintetében. Csupán a Sorbonne Egyetem fért fel a hét legsikeresebb intézet listájára, 42 nyertes ERC-pályázattal 17 év alatt. Ez az adat leginkább arra enged következtetni, hogy az (alap)kutatás a francia modellben kikerül az egyetemekről, és átkerül az intézetekbe (4. ábra).



4. ábra. Az ERC-nyertesek száma és aránya Franciaországban 2007 és 2023 között
 Forrás: saját szerkesztés ERC-adatok alapján

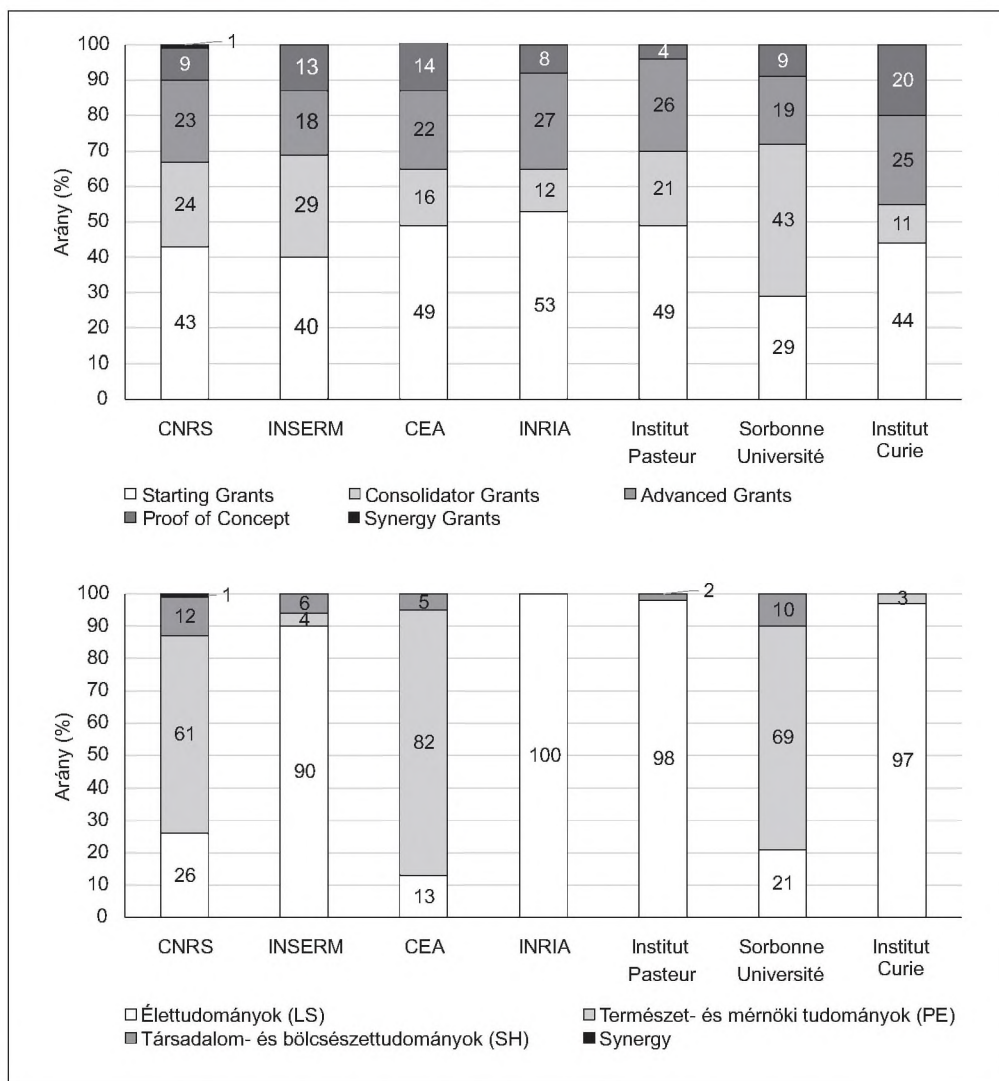
A CNRS-hez affiliált ERC-nyertesek a grantarányokat tekintve 43%-ban szereztek *Starting Grant*-et, 24%-ban *Consolidator Grant*-et, 23%-ban *Advanced Grant*-et, 9%-ban *PoC*-t és 1%-ban *Synergy Grant*-et. Az intézetek esetében az ERC-nyertesek számosságától függetlenül hasonló arányok figyelhetőek meg, míg az egyedüli egyetem esetében kiugróan számít az az eredmény, hogy a *Consolidator Grant* a „legsikeresebb” (49%), míg az intézetekhez képest jóval kevesebb a *Starting Grant* nyertes (29%).

Kijelenthető az is, hogy a tudományterület szerinti eloszlás igen egyenlőtlen; a nyertes pályázatok elenyésző része esik az SH alá, míg megfigyelhető a PE dominanciája olyan intézeteknél és egyetemekenél, amelyek nem csak kifejezetten e terület kutatására hívatottak (5. ábra).

A kutatói hálózatok feltárása érdekében megvizsgáltuk a CNRS-affiliált ERC-nyertesek társszerzői hálózatát mind a három ERC-kategóriában 2014 és 2023 között. Az eredmények megerősítik a szakirodalom által említett széles körű, kiterjedt és produktív tudományos hálózatok meglétét. Az LS-nél 78, a PE-nél 186, míg az SH területén 32 ERC-nyertes publikációját vizsgáltuk. A következőkben az adott területek a leggyakrabban kooperációs partnereként megjelenő intézeteit mutatjuk be.

A társszerzőség tekintetében két fontos eredmény figyelhető meg. Elsőként fontos aláhúzni a CNRS erős, belső együttműködési rendszerét. A CNRS mindhárom területen következetesen vezet a publikációs volumenben: az LS-ben 1600, a PE-ben 9752, az SH-ban pedig 862 társszerzővel közölt publikációval. Az LS-ben a CNRS ÁPI-értéke 45,6, a FWCI-értéke pedig 2,13, amely publikációnként kifejezetten ma-

gas idézettséget és az adott tudományágra kiemelkedő hatással lévő cikkek közlését jelenti. A PE-ben a CNRS dominanciája még szembetűnőbb, a természet- és műszaki tudományok területén a belső hálózat rendkívül széles körű és termelékeny, összesen 9752 cikk született a vizsgált tízéves időszakban, amelyekre összesen 366 208 idézet érkezett ($N_{API} = 37,6$). Bár az SH területén csak 32 kutató nyert ERC-t, e szerzők publikációs teljesítménye is igen magas, azaz belső együttműködés keretében 862 társ-szerzős cikket közöltek a kutatók, amelyek $\bar{API}$ -értéke 23,1.



5. ábra. Összesített ábra a leggyakoribb franciaországi intézetekről és egyetemekről ERC Grant típus és tudományág szerint 2007 és 2023 között
Forrás: saját szerkesztés ERC-adatok alapján

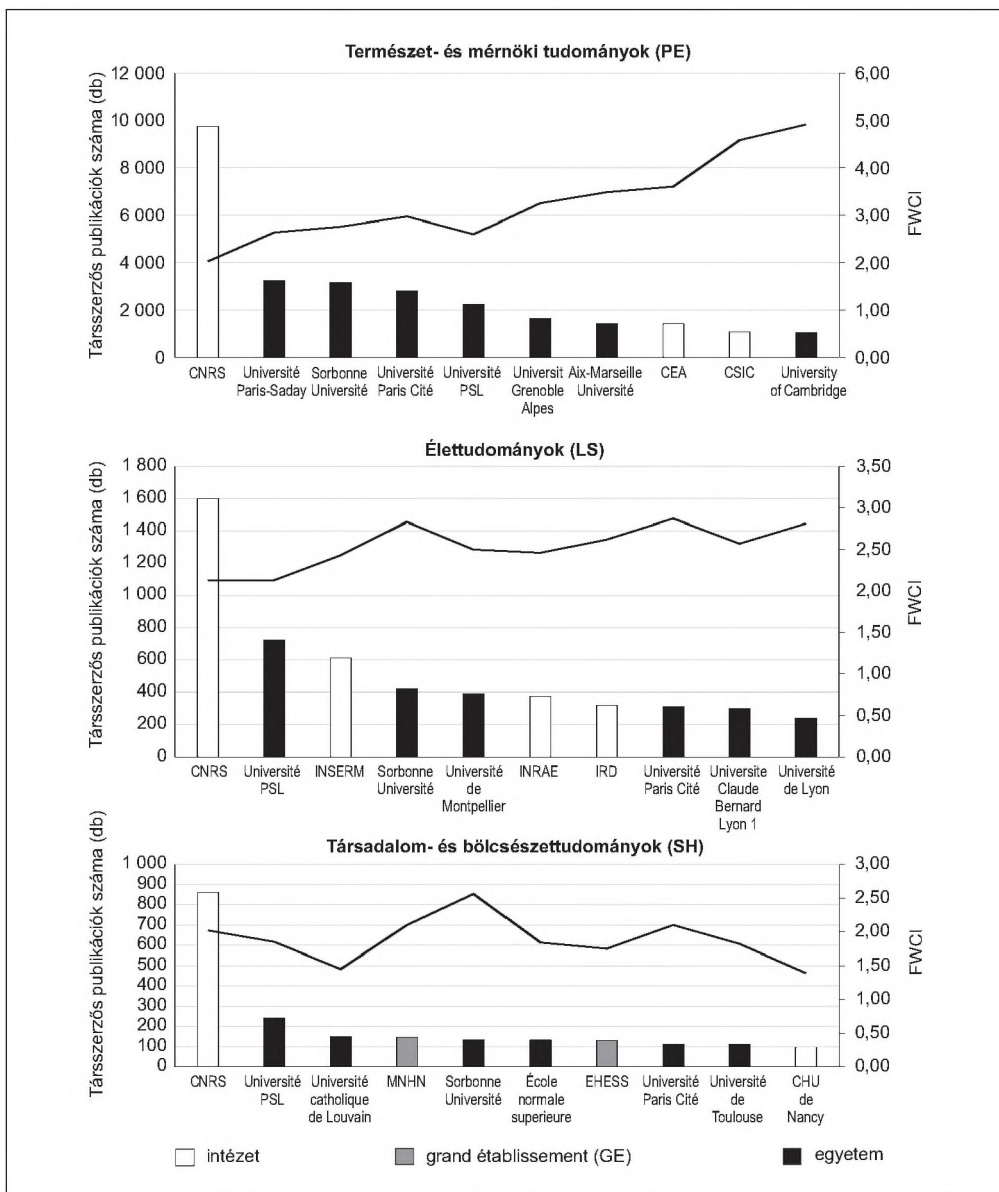
Megvizsgáltuk a külső kooperációkat is. Tudományterületeken átívelő jelentőségű a CNRS-hez affiliált ERC-nyerteseknek két francia egyetem, az Université Paris Sciences et Lettres (PSL) és a Sorbonne kutatóival folytatott együttműködése. A PSL minden területen az egyik leggyakoribb partner, holisztikus aspektusból nézve, illetve FWCI- és API-értékeket figyelembe véve a CNRS egyik legfontosabb partnere. A másik kiemelkedő partner a Sorbonne Egyetem. Az LS-ben a CNRS ERC-nyertes kutatói a Sorbonne kutatóival 422 publikációt jegyeznek, 66,6 API- és 2,83 FWCI-értéket eredményezve. A PE területén az együttműködés 3184 publikációban, 50,9-es API- és 2,76 FWCI-értékekben jegyezhető le, amelyek a legmagasabb értékek közt vannak a legjobb intézetek között e területen. Ezzel a Sorbonne a PSL mellett a fizikai tudományok egyik legfontosabb szereplője. Az SH területén a Sorbonne nemcsak a publikációk számában, hanem minőségében is kiemelkedik. A Sorbonne az ötödik legnépszerűbb kollaborációs partner (134 társszerzős publikáció), és egészen kiemelkedő, több LS- és PE-intézetnél is magasabb, 2,56-os FWCI-t érnek el a közösen jegyzett írások, azaz a CNRS és a Sorbonne együttműködése rendkívüli hatással van a társadalom- és bölcsészettudományokra.

Érdekes eredmény, hogy az együttműködés mintái bár regionális szinten sokszínűek, összességükben mégis lokálisak. Mindösszesen három külföldi egyetem került be a gyakori társintézetek közé, a Belgiumi Francia Község (CFB/FWB) által fenntartott UCLouvain (Université catholique de Louvain) az SH területén, illetve a spanyol CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) kutatóintézet és a Cambridge-i Egyetem a PE területén. A kutatási hálózat tehát elsősorban Franciaországra terjed ki, és csak másodsorban érint nemzetközi partnereket, azaz a CNRS tevékenysége a francia kiválóság növelését, illetve a francia kutatók előmenetelét és kutatásaik népszerűsítését segíti elő. Szintén fontos minta, hogy a leggyakoribb partnerek túlnyomó többsége – ellentétben az ERC-nyertesekkel – az egyetemi és nem a CNRS-hez hasonló kormányzati/állami szektorból érkezik, azaz a kooperációs kutatásnál megfigyelhető egyfajta integrációs funkció is a két szektor összekapcsolásának elősegítése vonatkozásában (6. ábra és 1. melléklet).

A Grand établissement (GE) olyan kifejezetten Franciaországban jellemző közintézmény, amely egyszerre lát el kutatási és felsőoktatási feladatokat, és nagy fokú adminisztratív és tudományos autonómiát élvez. A GE-k saját jogi státusszal rendelkeznek, és a tudományos, kulturális és szakmai közintézmények egyik sajátos típusát jelentik. A GE-k közé kutatói közintézmények, múzeumok, egyes egyetemek és tanzékeik, illetve felsőoktatási egységek tartoznak.

Végül áttekintettük, hogy milyen előmenetellel rendelkeznek az ERC-nyertes kutatók. E helyütt súlyozott analízist alkalmaztunk; csak azokat az intézeteket tekintettük relevánsnak, amelyek vagy az ERC-pályázat elnyerése előtt vagy alatt a szerzőhöz affiliáltak voltak. A CNRS-hez soroltunk minden alintézetet, amely a CNRS alá tartozik, viszont külön affiliációval indexálják őket (például Biológia Szekció).

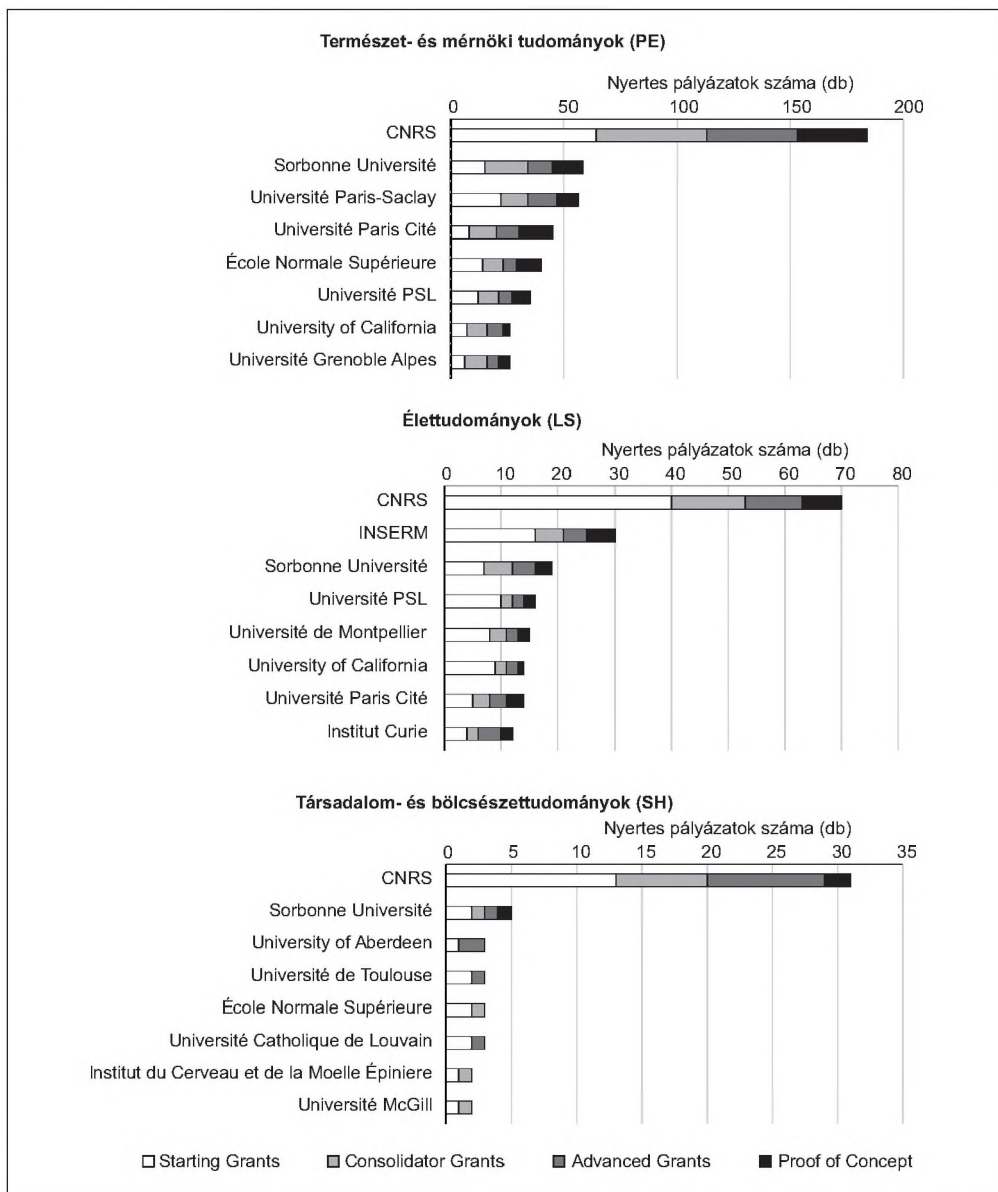
Érdemes felidézni a bevezető részben említett Griffiths-féle (2007) megjegyzést, amelyben a szerző egy sporthasonlaltal élve az ERC-nyerteseket „európai ligabajnok-



6. ábra. A CNRS-hez affiliált nyertesek kooperációs hálózata a társszerzők affiliációja és az FWCi alapján 2014 és 2023 között

Forrás: saját szerkesztés ERC- és Scopus-adatok alapján

nak” tekinti. E metaforából kiindulva a CNRS kiemelt jelenléte bár első pillantásra nem hat meglepőnek – a legnagyobb és legnevesebb francia kutatóintézetként természetesennek hat központi szerepe. Vezető szerepe ugyanakkor fontos megállapítással



7. ábra. A CNRS-hez affiliált nyertesek előmenetelének ismertetése
a 2019 és 2023 között ERC-t nyert kutatók tekintetében
Forrás: saját szerkesztés ERC- és Scopus-adatok alapján

szolgál arra nézve, hogy a CNRS nem *igazol* kiemelkedő kutatókat, hanem maga *neveli* ki őket. Más neves intézetek, mint a Sorbonne Egyetem, az INSERM és a PSL szintén magasan reprezentáltak, azaz megállapítható, hogy az ERC-elnyerés tanulási folya-

matának fontos stádiumai. Kiemelendő még, hogy a CNRS-affiliált ERC-nyertesek túlnyomó többsége francia intézetekben és egyetemeken kutató, mielőtt a CNRS-nél elnyeri az ERC-t. Ez arra enged következtetni, hogy a CNRS egyfajta „sikerinkubátorként” is szolgál: a franciaországi specializálódott intézetek és egyetemek legtehetségesebb, legkiválóbb kutatóit veszi fel, majd intézeti háttérrel szolgáltat számukra egy sikeres pályázathoz (7. ábra).

Diszkusszió

1) A CNRS ERC-teljesítményének tendenciái (K1)

A CNRS 2007 és 2023 közötti teljesítményének elemzése jelentős tendenciákat tár fel a különböző pályázattípusok között. A PE minden kategóriában erősen dominál, az LS a második legsikeresebb terület az elnyert pályázatok (32,5%) tekintetében. Bár az SH-kategória 20,8%-kal kisebb arányt képvisel, ez a CNRS-en belül az interdiszciplináris és társadalmi hatásorientált kutatások növekvő elismertségét hangsúlyozza. E helyütt azt is fontos megemlíteni, hogy az SH területén pályáztak a legkevesebben, míg a PE és LS kiemelkedik a pályázatok mennyiségében.

A támogatások típusainak megoszlása szintén értékes eredményekkel szolgált. A pályakezdő kutatókat célzó Starting Grant az összes támogatás 40%-ával a legnagyobb szegmenst alkotja. Ez arra utal, hogy a CNRS egyik legnagyobb erőssége, hogy kiemelt hangsúlyt fektet a fiatal tehetségek gondozására és az innovatív kutatások ösztönzésére a tudományos pályafutás kezdetén. Ez szorosan kapcsolódik az irodalomban említett strukturált, PhD-tanulmányoktól induló tanulási és *kinevelési* folyamathoz is. A Consolidator és Advanced Grantek jelentős száma azt tükrözi, hogy a CNRS támogatja a karrierjük közepén lévő és a vezető kutatókat, garantálva a tudományos közösségen belül a magas színvonalú kutatás és a vezetői szerep folyamatos biztosítását is.

2) Az intézeti siker modellje: a CNRS és más intézetek teljesítménye az ERC-pályázatok tükrében (K2)

Megerősítve a több évre visszanyúló szakirodalmi megállapításokat, kutatásunk alátámasztotta, hogy a CNRS kiemelkedik mind az európai, mind a globális kutatási szintén, és más neves vezető intézeteket következetesen megelőzve teljesít. Franciaországban a CNRS az összes odaítélt ERC-támogatás 44%-át nyeri el, így pozícióját tekintve az ország első számú kutatóintézete. Ez a sikerességi arány a CNRS kutatási kiválóságra való stratégiai összpontosításának, kiterjedt támogatási struktúrájának, valamint a csúcskategóriás kutatók nevelésére, vonzására és megtartására való képességének bizonyítéka. Nemzetközi szinten a CNRS sikerességi aránya meghaladja az olyan tekintélyes intézetekét, mint a német MPG, vagy az olasz IIT (Istituto Italiano di Tecnologia) és a spanyol CSIC.

A 2019 és 2023 közötti időszakra szűkített vizsgálat még inkább kiemeli a CNRS dominanciáját. A növekvő verseny és a szigorú értékelési kritériumok ellenére a CNRS az ERC-támogatások jelentős részét nyeri el; Európában minden intézetet és egyetemet jelentősen megelőz a sikeres pályázatok számában (Anastasaki 2022). Ez a következetes és folyamatos teljesítmény kiemeli a CNRS kutatási modelljének hatékonyságát, amelyben a központosított tervezés a tudományágak közötti együttműködésre helyezett nagy hangsúlyt.

A CNRS sikeressége az együttműködésen és a széles körű publikációs tevékenységen keresztül is kiolvasható. A belső és külső együttműködések eredményeként a CNRS kutatói kiemelt mennyiségű és minőségű közleményt jegyeznek minden kategóriában. A kooperációs hálózatvizsgálat másik fontos eredménye, hogy a kooperáció nemzeti alapú és nem nemzetközi (azaz francia partnerekkel a leggyakoribb az együttműködés).

3) Francia és kiváló: a CNRS és az előmenetel szisztematikus vizsgálata (K3)

Az intézeti háttér vizsgálata azt mutatja, hogy sok CNRS-hez kötődő ERC-nyertesnek van korábbi kapcsolata más kiemelkedő francia intézetekkel. Ezek a kapcsolatok egy olyan sikeresen működő kutatási együttműködési hálózatot tükröznek, ahol az intézetek szinergikusan együttműködnek a tehetséggondozás és a tudományos ismeretek fejlesztése érdekében. A kutatók mozgása ezen intézetek és a CNRS között a szakértelem áramlását és a magas szintű kutatáscentralizálást is jelzi, amely egybevág a CNRS-ről szóló szakirodalmi megállapításokkal. Kijelenthető az is, hogy a francia modell alapja, hogy a sikeres alapkutatás intézeti és *nem* egyetemes keretek között zajlik; utóbbi tulajdonképpen a kiválóságához vezető út első lépéseként szolgál, míg az intézetekben a sikeres, nagyszámú ERC-nyertességben kifejezhető kutatómunka zajlik. Ez egyben rávilágít az egyetemeken történő korai támogatás és mentorálás fontosságára a sikeres kutatói karrier kialakításában, továbbá a CNRS „sikerinkubátor” szerepére, mivel az intézet a CNRS-hez való csatlakozással biztosítja az egyetemi kutatásban részt vevő és ott kitűnő kutatók számára az ERC-ösztöndíj sikeréhez szükséges intézeti támogatást és erőforrásokat.

Következtetések

A CNRS kivételes sikereket ért el az ERC-pályázatok elnyerésében. A 2007 és 2023 közötti időszak elemzése kiemeli, hogy a CNRS stratégiai szempontból a PE- és az LS-területekre összpontosít, amelyek együttesen az ERC-pályázatok többségét adják. A CNRS-nél kiemelten fontos az egyéni grantek terén elért kimagasló teljesítmény, amely tovább tükrözi az intézet elkötelezettségét a pályakezdő, haladó és vezető kutatók fenntartható kutatási kiválóságának előmozdítása iránt. Nemzetközi szinten a CNRS számos tekintélyes intézetet megelőz, ami a központosított tervezési és interdiszciplináris együttműködési modell hatékonyságát illusztrálja.

A CNRS sikeréhez jelentősen hozzájárul a Franciaországon belüli együttműködő és támogató kutatási környezet is. Az intézet alapfilozófiája, amely a korai támogatásra és az interdiszciplináris együttműködésre helyezi a hangsúlyt, viszonyítási alapként szolgálhat más országok számára, amelyek kutatási eredményeik javítására törekcszenek. Magyarország például hasonló stratégiákat alkalmazhatna az ERC-támogatások elnyerésében elért teljesítményének javítása érdekében. A fiatal kutatók gondozására, az interdiszciplináris projektek támogatására és az erős intézeti együttműködések előmozdítására összpontosítva Magyarország versenyképesebb és innovatívabb kutatási környezetet építhet – ehhez kiváló inspiráció lehet a francia modell integrálása.

Rövidítések jegyzéke

Rövidítés	Teljes név
API	átlagos publikációnkénti idézőszám
CEA	Atomenergia- és Alternatív Energiaügyi Bizottság (Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives)
CNRS	Francia Nemzeti Tudományos Kutatási Központ (Centre National de la Recherche Scientifique)
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
ERC	Európai Kutatói Tanács (European Research Council)
FWCI	Field Weighted Citation Impact (tudományterület normalizált idézettségi mutatója, 1,00 feletti érték esetén a publikáció az átlagosnál nagyobb tudományos hatást ért el az adott szakterületen)
INRIA	Nemzeti Informatikai és Automatizálási Kutatóintézet (Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique)
IIT	Olasz Technológiai Intézet (Istituto Italiano di Tecnologia)
INRIA	Nemzeti Informatikai és Automatizálási Kutatóintézet (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique)
INSERM	Nemzeti Egészségügyi és Orvostudományi Kutatóintézet (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale)
LS	élettudományok
MPG	Max Planck Társaság (Max-Planck-Gesellschaft)
PE	természet- és műszaki tudományok
PoC	Proof of Concept
PSL	Université Paris Sciences et Lettres
SH	társadalom- és bölcsészettudományok
UMI	a CNRS Vegyes Nemzetközi Egységei

Köszönetnyilvánítás

S. P.: A TKP2021-NKTA-51 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A tanulmány a Nemzeti Közszołgálati Egyetem Hálózattudományi Kutatóműhely támogatásával készült.

L. G. F.: A tanulmány a Rosztoczy Foundation szakmai támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- Anastasaki, Athina (2022). „What Matters for a European Research Council (ERC) Starting Grant?” *Angewandte Chemie International Edition*, 61/40, 1–7. <https://doi.org/10.1002/anie.202206303>.
- „Assessment Report of the CNRS (Centre national de la recherche scientifique)” (2023). *Hcéres* (2023. nov.). <https://www.hceres.fr/sites/default/files/media/downloads/report-cnrs-2023.pdf>.
- Baron, Georges-Louis – Mounier-Kuhn, Pierre-E. (1990). „Computer Science at the CNRS and in French Universities: A Gradual Institutional Recognition”. *IEEE Annals of the History of Computing*, 12/2, 79–87. <https://doi.org/10.1109/mahc.1990.10020>.
- Beck, Gérard (1996). „The CNRS and Materials Science Policy in France”. *Advanced Materials*, 8/5, 381–384. <https://doi.org/10.1002/adma.19960080502>.
- Beerens, Maarja (2018). „The European Research Council and the Academic Profession: Insights from Studying Starting Grant Holders”. *European Political Science*, 18/2, 267–274. <https://doi.org/10.1057/s41304-018-0166-7>.
- Carrillo, Jairo Maldonado – Montesi, Michela (2018). „Análisis bibliométrico comparativo de la actividad científica del CSIC y cuatro homólogos europeos: CNRS, HG, MPG Y CNR (2006-2015)”. *Revista General de Información y Documentación*, 28/1, 163–191. <https://doi.org/10.5209/rgid.60807>.
- Casassus, Barbara (2024). „Incomprehensible: Scientists in France Decry €900-million Cut to Research”. *Nature* (2024. febr. 26.). <https://doi.org/10.1038/d41586-024-00589-5>.
- Dobos Imre – Sasvári Péter (2021). „A QS World University Rankings 2021 vizsgálata a Scopus-/SciVal-adatbázisok segítségével”. *Statisztikai Szemle*, 99/9, 874–900. <https://doi.org/10.20311/stat2021.9.hu0874>.
- Griffiths, Martin (2007). „How to Become a European Champion”. *Physics World*, 20/5, 45–46. <https://doi.org/10.1088/2058-7058/20/5/41>.
- Groß, Thomas – Karaalp, Remzi N. (2015). „The European Research Council: A Legal Evaluation of Research Funding Structures”. In: Jansen, Dorothea – Pruiskens, Insa, szerk. *The Changing Governance of Higher Education and Research*. Berlin: Springer, 179–187. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09677-3_9.
- Guinnessy, Paul (2007). „Europe Creates Research Funding Agency”. *Physics Today*, 60/4, 33. <https://doi.org/10.1063/1.2731968>.
- Heldin, Carl-Henrik (2008). „The European Research Council – A New Opportunity for European Science”. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 9/5, 417–420. <https://doi.org/10.1038/nrm2374>.
- Hoening, Barbara (2018). „Structures, Mechanisms and Consequences of Europeanization in Research: How European Funding Affects Universities”. *Innovation the European Journal of Social Science Research*, 31/4, 504–522. <https://doi.org/10.1080/13511610.2018.1497479>.
- Jang, Hyunju (2021). „Relationship between Publication Indicators and Citation Impact Indicators for Publications in Business, Management, and Accounting Listed in Scopus from 2015 to 2019”. *Science Editing*, 8/1, 18–25. <https://doi.org/10.6087/kcse.225>.

- Jonkers, Koen – Cruz-Castro, Laura (2010). „The Internationalisation of Public Sector Research Through International Joint Laboratories”. *Science and Public Policy*, 37/8, 559–570. <https://doi.org/10.3152/030234210x12767691861056>.
- „List of Participating Countries in Horizon Europe. Third Countries Associated to Horizon Europe”. *European Comission. EU Funding & Tenders Portal. EU Grants: List of Participating Countries (HE): V2.4 – 15.01.2023* (letöltés: 2025. júl. 4.). <https://tinyurl.com/3h4pwsfh>.
- Oh, Kyungwhan (2018). „The State, Science, and Planification: The Coproduction of the French State and Science”. *Development and Society*, 47/4, 663–687. <https://www.jstor.org/stable/26554722>.
- Vantard, Marylin – Galland, Claire – Knoop, Martina (2023). „Interdisciplinary Research: Motivations and Challenges for Researcher Careers”. *Quantitative Science Studies*, 4/3, 711–727. https://doi.org/10.1162/qss_a_00265.
- Vilkas, Catherine (1996). „Évaluations scientifiques et décisions collectives: le Comité national de la recherche scientifique”. *Sociologie Du Travail*, 38/3, 331–348. <https://doi.org/10.3406/sotra.1996.2257>.

Mellékletek (külső szerveren):

1. melléklet. A CNRS társszerzői hálózata:
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1TpM186zFFPdxsd5ww1xJq1RjeIIWDF4b/edit?usp=drive_link&ouid=100423442861719551356&rtpof=true&sd=true.
2. melléklet. CNRS ERC-nyertesek adatbázisa:
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/10J4pCtGcwKAlbloa4FrZIWG7xUgvjvL6/edit?usp=sharing&ouid=100423442861719551356&rtpof=true&sd=true>.

Palackba zárt üzenetek

Bottled Messages

Duda Ernő

az MTA doktora, Szegedi Tudományegyetem Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Kar Orvosi Biológiai Intézet, Szeged
dudaerno@gmail.com

Összefoglalás

Az időtálló DNS-sel ellentétben az RNS-molekulák közismerten nagyon érzékenyek, könnyen elbomlanak, vagy bontóenzimeknek esnek áldozatul. Meglepő módon a szervezetben belül a különféle sejtek nemcsak hormonok, neurotranszmitterek, citokinek, lipid jelmolekulák vagy elektromos impulzusok révén kommunikálnak egymással, hanem RNS-ek révén is képesek befolyásolni egymás működését. Még váratlanabb volt annak felfedezése, hogy állatok, növények, gombák, eukarióták és baktériumok között is folyik egy olyan háború, amelyben RNS-molekulák segítségével igyekeznek beavatkozni a partnereik genetikájába. Ehhez persze tudnunk kell, hogy az elmúlt évtizedekben a három „tankönyvi” RNS-változat (transzfer RNS, riboszomális RNS, messenger RNS) mellett egyre több, biológiailag aktív RNS felfedezésére is sor került. Ezeknek a génaktivitás szabályozásában van szerepük, így jelentős mértékben képesek megváltoztatni egy sejt anyagcseréjét, működését. Természetesen a sejtek vagy a különböző élőlények között ingázó kényes RNS-molekulákat egy lipidburok védi, hasonlóan a korszerű védőoltásokban található nanorészecskékhez. Az így előállított „drónok” aztán bevethetők a gazda és kórokozója közti harcban, felhívják az immunrendszer figyelmét a tumorsejtekre, befolyásolják a magasabbrendűek mikrobiomjának fajösszetételét, visszahatnak a gazda egészségére is, de alkalmasak arra is, hogy a tumorsejtek immunhiányos mikrokörnyezetet tudjanak kialakítani maguk körül.

Abstract

RNA molecules are fragile and unlikely to be used to manipulate the activity of genes in other cell types, let alone in different organisms. Therefore, it came as a surprise to discover that cells communicate with each other and can alter the metabolism and function of other cells by utilizing RNA molecules. Even more astonishing is the fact that genetically unrelated plants, fungi, animals, and bacteria use RNAs to manipulate each other genetically in the fight for survival. For many years, tRNAs, rRNAs, and mRNAs were considered the three main types of RNA molecule. However, during the last few decades, several new RNA species have been discovered that play important roles in the highly complicated process of regulating gene activity. Messages exchanged between cells and organisms contain both mRNA and other types of RNA molecules. These exported RNA molecules must be protected against RNases, which are present everywhere. Cells produce extracellular nanoparticles the size of virions, with a lipid layer enclosing the delicate RNA molecules. These molecular weapons play a part in the battle between parasites and host organisms: animals use them to influence the composition of their microbiome, while bacteria use them to manipulate their host organism. They are also the means by which malignant cells develop an immunosuppressive microenvironment or prepare a site for a new metastasis.

Kulcsszavak: exoszóma, extracelluláris vezikula (EV), RNS-ek, kommunikáció a sejtek, fajok és rendszertani országok között

Keywords: exosomes, extracellular vesicles (EV), RNAs, communication between cells, species, and kingdoms

1. Nemkódoló RNS-ek

mikroRNS-ek

Örökítőanyagunk alig 1–1,5%-a kódol csak fehérjét, ám az emberi genom mintegy 90%-a átíródik RNS-sé! Ezek egy részét képezik a riboszómális RNS-ek (rRNS) és transzfer RNS-ek (tRNS). A molekuláris biológia fejlődése az elmúlt két évtizedben további úgynevezett nemkódoló RNS-féleségek (ncRNS-ek) sokaságát tárta fel (Amaral et al. 2008; Statello et al. 2021; Fire et al. 1998; Lee–Feinbaum–Ambros 1993; Sebastian-Delacruz 2021).

Különbéle szervezeteket összehasonlítva megállapítható, hogy a fehérjét kódoló gének meglehetősen konzerváltak, és mennyiségük is kevésbé változó, például a működő emberi és egérgének 97%-a hasonló. Ezzel szemben a nemkódoló RNS-szakaszokra a gyors evolúció jellemző, és mennyiségük a komplexebb organizmusokban sokszorososan meghaladja az egyszerűbb élőlényekben találtakat.

A szervezet eltérő feladatokra specializálódott sejtjeiben más és más gének működésére van szükség. Más fehérjék termelődnek, és más gének hallgatnak például egy idegsejtben, mint egy májsejtben. Az újabban felfedezett ncRNS-ek meghatározó szerepet játszanak a gének szövet- és fejlődésspecifikus működtetésében, az epigenetikai szabályozásban, de hatásos védelmet jelentenek a vírusok és belső genetikai paraziták (például transzpozonok) ellen is (Bernstein–Meissner–Lander 2007).

A legkisebb RNS-molekulák a mikro-RNS-ek (miRNS), felfedezéséért Victor Ambros és Gary Ruvkun 2024-ben kapott Nobel-díjat (Lee–Feinbaum–Ambros 1993). A miRNS-ek 21–23 nukleotidból álló, egyszálú molekulák, amelyek feladata az illető sejtben nemkívánatos mRNS-ek aktivitásának gátlása. Az emberi genomban közel 2000 potenciális miRNS található, ebből legalább 500 bizonyítottan működik. A miRNS-eket kódoló szakaszok a genomban többnyire csoportosan, egymás mellett találhatók. A miRNS-ek többlépcsős érési folyamaton mennek keresztül, végül a kész miRNS az argonauta-fehérjecsaldó egyik tagjával egy komplexet alakít ki.

Ez a RISC, az RNS-indukálta némítókomplex (RNA-induced silencing complex). A RISC, a miRNS-t felhasználva, *szekvenciaspecifikusan* képes gátolni a cél mRNS átíródását (transzlációját), vagy destabilizálni az mRNS-t, vagy elvágva inaktíválni azt. Az mRNS-ek és a miRNS-ek bonyolult hálózatot alkotnak: az állati genomokban kódolt mRNS-ek több mint a fele célpontja legalább egy miRNS-nek, míg egy miRNS többféle mRNS-t is gátolhat, és több miRNS is képes egy-egy mRNS-t inaktíválni. A RISC része annak a komplexnek is, amelyik – a miRNS szekvenciája alapján – képes a mRNS-t kódoló gén inaktíválására is, a DNS és/vagy a hisztonok metilálása révén (lásd később).

Baktériumokban, archeákban nem fordulnak elő miRNS-ek, bár némileg hasonló feladatot ellátó, 50–100 bázis hosszúságú RNS-molekulákat prokariótákban is írtak már le (Berger 2007).

piRNS

Az emberi genom közel felét molekuláris paraziták, részben víruseredetű, sokszor ismétlődő, *mobilis genetikai elemek* alkotják. Ezek inaktiválása elengedhetetlen a sejt normális működéséhez. Hasonló a helyzet a növények vagy a rovarok, sőt, a gerinctelenek esetében is. A mobilis genetikai elemek potenciális „elszabadulása” a genom épségének, integritásának gyorsan véget vet, így az élőlények kifejlesztettek egy RNS-függő, adaptív immunitásnak nevezhető mechanizmust (Tjaden et al. 2006). Ez hasonlít ahhoz, ahogy a mikroRNS-ek teszik lehetetlenné az mRNS-ek működését, de mások a szereplők a folyamatban. Az egyszálú piRNS-ek (Piwi-interacting RNA, piRNA) mérete 21–31 bázis. A genomon belül tucatnyi, de akár ezer piRNS-t kódoló szakasz (klaszter) is kialakult.

Állatokban több százezerre becsülik a piRNS-ek számát, egérben 50 ezret azonosítottak eddig. Az mRNS-ek inaktiválásához ezek is RISC-komplexet képeznek az argonauta-fehérjecsaldába tartozó PIWI-fehérjékkel (HIWI, HIWI2, illetve HILI). Emlősökben a piRNS-ek a petefészekben, a herékben, valamint szervezetekben fordulnak elő (Czech et al. 2018).

A PIWI-fehérjék mutációi feltárták a piRNS-ek szerepét a fertilitásban is: az MILI- és MIWI-mutáns egerekben gátolt a spermatogenezis, mert a meiózis után az ivarsejtek apoptózissal elpusztulnak. Úgy tűnik, míg a számfelező (meiotikus) osztódás profázisa előtt termelődő *pre-pachytene* piRNS-ek feladata a transzpozonok és más mobil genetikai elemek inaktiválása, a *pachytene* piRNS-ek a meiózis alatt működésbe lépő mRNS-ek szabályozásában játszanak szerepet (Czech et al. 2018).

siRNS

A siRNS-ek (small interfering/silencing RNAs) a vírusok elleni védelem eszközei, de az endogén, vírus eredetű gének inaktiválásában is szerepet játszanak, a géncsendesítésnek (RNA interference, RNAi) nevezett genetikai folyamatban (Fire et al. 1998).

Állati sejtekben nem fordul elő kétszálú RNS (dsRNS). Viszont az RNS-vírusok a replikáció során általában RNS-függő RNS-polimerázokat használnak, az új vírusgeneráció genomja és a vírus mRNS-ek is dsRNS formájában termelődnek. Érthető, hogy a sejt a dsRNS-t ellenségnek tekinti, és védekező mechanizmust fejlesztett ki ellene.

A miRNS-eknél megismert fehérjék, a Dicer, az argonauta és a RISC-komplex a vírus elleni védekezésben is fő szerepet játszanak. A vírus eredetű, kétszálú RNS-t a Dicer 20–24 bp hosszúságú szakaszokra vágja, amelyből az egyik lánc lebontásra kerül, míg a másik beépül a RISC-be. Ellentétben a miRNS-ekkel, a siRNS-alkotta komplexben az RNS-láncok tökéletesen komplementerek, hiszen közös az eredetük. Így fokozott a kölcsönhatás specificitása, a csendesítésnek egyetlen mRNS a célpontja, és az mRNS még a leolvasás előtt megemésztődik.

A géncsendesítésnek nevezett folyamatot a férgekben fedezték fel, jelenlétét emlős-, növényi és élesztőgomba-rendszerekben is kimutatták (Ortega 2024; Hamilton 1999). A szintetikus dsRNS-ek által kiváltott géncsendesítést kiterjedten használják genetikai kísérletekben, és már terápiás alkalmazása is van. (Az első siRNS alapú gyógyszer, a *patisiran* használatát idegkárosodás [polineuropátia] kezelésére 2018-ban hagyta jóvá az FDA.)

lncRNS-ek

A 200 bázisnál hosszabb, nemkódoló RNS-eket (lncRNS) a genom gének közötti szakaszai vagy a géneken belüli intronok kódolják, de előfordul olyan is, amely egy gén ellentétes irányú (antiszensz) transzkripciója révén keletkezik. Az lncRNS-ek egyik feladata azoknak a géneknek a módosítása, csendesítése, amelyekre a sejt működése során nem lesz szükség. A gének inaktiválását az lncRNS-ek irányításával DNS-metil-transzferázok végzik, amelyek a gének promóter régióiban gyakori CG-bázissorrendekben a citozint metilcitozinná alakítják. Az így módosított gének az illető sejtben többé nem aktiválhatók, mert nincsenek enzimek, amelyek a metilcitozint visszaalakíthatnák.

A gének aktivitását nem csak a DNS metilációja révén lehet szabályozni. A hisztonfehérjék módosítása megváltoztatja a fehérje–DNS-kapcsolat erősségét, ezzel befolyásolva a DNS átírhatóságát. Ezek a módosítások (metil, acetil, foszforil vagy ubikvitinil beépítések, szubsztitúciók) visszafordíthatók, így – az igényeknek megfelelően – sokkal rugalmasabban tudják befolyásolni a gének aktivitását. A H3 és H4 hisztonok lizinjeinek (H3K9, H3K27 és H4K20) metilációja általában a DNS-szakasz inaktiválásához, heterokromatinná alakulásához vezet, míg például a H3K9 és K14 vagy a H4K5, K8, K12 vagy K16 acetilációja az aktívan működő génekre jellemző. A hisztonmódosító enzimek működésének helyét a DNS mentén az lncRNS-ek határozzák meg. Még más fehérjék szekvenciaspecifikus elhelyezkedését is biztosítani tudják, sőt, magukban is képesek befolyásolni a gének aktivitását. Előfordul, hogy az lncRNS-ek „csali” szerepet töltenek be, a génaktivitás változását úgy érik el, hogy nagy affinitással megkötnék olyan fehérjéket, amelyeknek máshol lenne génaktivitást szabályozó feladatuk.

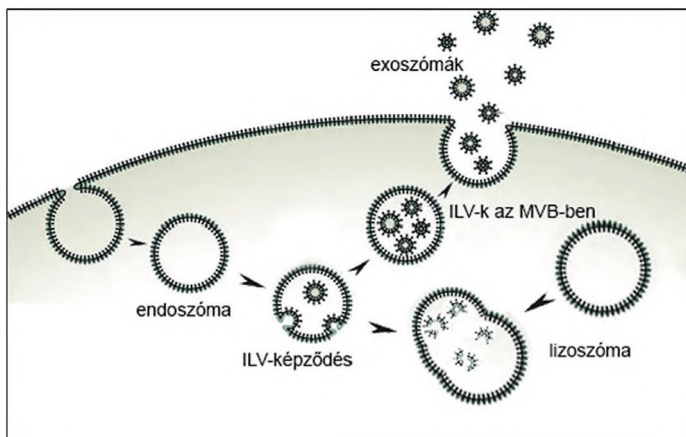
A nemkódoló RNS-ek közé tartoznak a cirkuláris RNS-ek is (bár egyesek ezek közül fehérjét kódolnak). Ezek egyszálú, de a végeken összeillő szekvenciákat tartalmazó molekulák, amelyek többféle módon keletkezhetnek (Drinnenberg et al. 2009; Dawoud et al. 2022). Témánk szempontjából legfontosabb funkciójuk az mRNS-ekkel és miRNS-ekkel alkotott hálózatban a gének aktivitásának szabályozása. Hosszabb egyszálú szakaszaik lehetőséget adnak akár több miRNS megkötésére is, azok működését akadályozva (Jeck–Sharpless 2014).

2. Sejten kívüli vezikulák

Exoszómák, extracelluláris vezikulák (EV-k)

1987-ben, a retikulociták érését tanulmányozva fedezték fel, hogy a transzferin receptora, ami korábban a plazmamembránban foglalt helyet, egy idő múltán endocitózisa került, majd a sejten kívül, parányi vezikulákban volt kimutatható (Sakshi et al. 2021). Az évek során kiderült, hogy a legkülönbébb állati, növényi sejtek, az egysejtűek, a gombák és a prokarióták is termelnek extracelluláris vezikulákat (EV). Ezek keletkezésének módja, mérete, összetevői nagyon változatosak. Valamennyien foszfolipid membránnal határolt részecskék, amelyekben fehérjék, RNS-ek, esetenként DNS-molekulák *gondosan szelektált* együttese található.

Bár a méretek változatosak és gyakran átfedőek, az exoszómák a legkisebbek, 30–150 nm méretűek, a mikrovezikulák 100 nm és 1 μ m közöttiek, míg az apoptotikus testek 1–5 μ m átmérőjűek. Az állati sejtekben az exoszómák endoszomális úton keletkeznek. A korai endoszómamembrán betüremkedéseiből alakulnak ki az *intraluminális vezikulák* (ILV), amelyeket körbeveszi az endoszóma maradék membránja (buborék a buborékban). Az ILV-kbe a molekulák szétválogatása (sorting) során vagy lebontásra, vagy exportra szánt molekulák kerülnek. Ennek megfelelően az ilyen multilamelláris képződmények (mature multivesicular bodies, MVBs) vagy az emésztő lizoszómákba olvadnak bele, vagy a plazmamembránnal fuzionálva a szabadba exportálják a bennük található ILV-ket, amelyeket ezután exoszómának nevezünk (1. ábra).



1. ábra. Az exoszómák keletkezése

Az endoszomális membránból keletkező „öblökbe” exportra vagy lebontásra kerülő anyagok kerülnek. Ezek lefűződve intraluminális vezikulákat, ILV-ket alkotnak a kialakuló multilamelláris vezikulákban. Az utóbbiak fuzionálhatnak a plazmamembránnal exoszómák keletkezéséhez vezetve, vagy a bontóenzimeket tartalmazó lizoszómákkal, ami az alkotórészek emésztéséhez vezet

Forrás: saját szerkesztés

A mikrovezikulák a plazmamembránból kitüremkedő, majd lefűződő képződmények, amelyekben a citoplazma egy része is bezáródik, némely esetben véletlenszerűen, más-kor szelektált tartalommal (Sakshi et al. 1987). Végül az apoptotikus testek (ApoBDs) a sejtek önpusztító, apoptotikus folyamata során keletkeznek. Ezeket korábban selejtnek, törmeléknek tekintették, ám kiderült, hogy sok betegség esetén a diagnózis, a prognózis vagy a terápia szempontjából valódi kincset képviselnek (Yáñez-Mó et al. 2015).

Állati sejtek vezikulumaiban a fehérjék egy jellegzetes csoportja, például a tetraspannin (TET) család tagjai (például CD9, CD63, CD37, CD81, CD82) dúsulnak fel, a lúdfű (*Arabidopsis*) EV-iben már 17 TET-családtagot találtak, amelyek jellegzetes transzmembrán topológiája azonos az állati családtagokéval, bár elég alacsony szekvenciahasonlóságot mutatnak azokkal. (Érdekes módon, a TET8 és TET9 szintje rohamos emelkedést mutat, ha a növényt megfertőzi a *Botrytis cinerea* nevű gomba, sugallva e fehérjék fontos szerepét a kórokozó elleni védelemben [lásd később]).

Bakteriális extracelluláris vezikulák (BEVs)

A logaritmikusan szaporodó baktériumok kevés EV-t termelnek, de a stacioner fázisban a termelés jelentősen fokozódik. A vezikulák keletkezése bonyolult folyamat, becslések szerint vagy 150 gén működése szükséges hozzá! Gram-negatív baktériumokban vagy a bakteriális külső membrán kitüremkedése és lefűződése vezet OMV-k (outer-membrane vesicles) keletkezéséhez, vagy – a peptidoglikán réteg gyengesége miatt – a belső membrán dudurodik ki, és a sejt lizisét követően OIMV-k (outer-inner membrane vesicles), vagy EOMV-k (explosive outer-membrane vesicles) formálódnak (Jan 2017). A Gram-pozitív baktériumok masszív sejtfala akadályt jelent az EV-k kiszabadulása szempontjából. Mégis, több tanulmány is leírt 20–400 nm méretű lipid kettősréteggel rendelkező részecskéket e baktériumok felülúszójából. A sejtfal állandó átépítésen megy keresztül, és feltehetőleg időnként lehetőség nyílik a EV-k kiszabadulására. A peptidoglikán keresztköteseit csökkentő, szubletális dózisu béta-laktám antibiotikum-kezelés hatására jelentősen nőtt az EV-k száma. Kísérletesen csak egy öngyilkos módszert sikerült eddig azonosítani, amikor a citoplazmában belül keletkeznek vezikulák (cytoplasmic membrane vesicles, CMVs). Ezt követően a peptidoglikán endolizin okozta degradációja sejtlizishez vezet, és a CMV-k a sejtfal pórusain keresztül szabadulnak el (Jan 2017).

Az eukarióták és a baktériumok mellett létező harmadik létforma a prokarióta archeák világa. Nemrégiben sikerült ezekből az organizmusokból is olyan EV-ket izolálni, amelyek a bakteriális extracelluláris vezikulákra hasonlítanak (outer membrane vesicles). A *Halcférfő volcánii* nevű archea a nagyon sós környezetet kedveli, mint például a Holt-tenger (halofil). Extracelluláris vezikulái nem tartalmazzak DNS-t, mint más archea-eredetű EV-k, hanem sok nemkódoló RNS-t. Ezek koncentrációja magasabb a részecskében, mint magában a sejtben (Liu et al. 2021). Míg a DNS az EV-t felvevő sejtnek a tartós genetikai megváltoztatására is alkalmas, az RNS csak időleges anyagcsere-változást képes előidézni, tehát afféle időzített üzenetek közvetítésére való.

3. Az exoszómák és RNS-ek szerepe a szervezeten belül

Az exoszómáknak egyre nagyobb jelentőséget tulajdonítanak a sejtek közötti kommunikációban, élettani és immunológiai folyamatokban. Az EV-k a szervezeten belül nagy távolságokra is képesek eljutni, így a termelő sejt távoli sejtek működését is befolyásolni tudja, akár azok differenciálódására is hatással lehet. Az exoszóma által szállított, biológiailag aktív molekulák tükrözik a kiválasztó sejt fenotípusát, anyagcseréjét, élettani szerepét. Az EV-k olyan biomarkereket hordozhatnak, amelyek egy betegség kialakulását, lefolyását, prognózisát nagyon korán előre jelezhetik, így óriási diagnosztikai jelentőséggel bírnak, ami ma még nagyrészt kihasználatlan.

Hadi Valadi és munkatársai (Lötvall–Valadi 2007) fedezték fel, hogy a hízósejtekből származó exoszómák nemcsak fontos fehérjéket szállítanak, de bennük biológiailag aktív RNS-molekulák is találhatók. A kísérletekben igazolták, hogy az egér hízósejtekből származó exoszómák által hordozott mRNS-ek emberi hízósejtekből egérfehérjék termelését hozták létre. Ráadásul azt is kimérték, hogy az EV-kben található ezernyi mRNS némelyike a donorsejtben nem is nagyon fordul elő, hanem csak az exoszómákban, tehát eleve exportra készül (Valadi et al. 2007)!

A „veszélyes sajt” sejtek (fertőzött vagy tumorsejtek) elpusztítására akkor kerülhet sor, ha a kórokozó vagy a tumormarker antigéneket a dendritikus sejtek (DC) és a citotoxikus T-sejtek is megismerik. A sejtek exoszómák százait termelik, és az exoszómák hordozzák a szekretáló sejt felszíni fehérjéit, sőt az antigéneket bemutató MHC-fehérjéket is. Ez alkalmassá teszi az EV-eket arra, hogy a veszélyes sejt felismerése nélkül is ki tudjon alakulni védő, T-sejtes immunválasz. A T-sejtek egy másik változatát, a természetes ölősejteket (natural killer, NK cells) azok a fehérjék gerjesztik ölésre, amelyeket a DNS-károsodás, az oxidatív vagy a genotoxikus stressz indukál a tumorsejtekből. Ezek a MICA-, MICB- és ULBP-ek-fehérjék, amelyek az exoszómákon is fellelhetők. Tehát a malignus sejtek megjelenésének korai felismerésében óriási szerepe van az exoszómáknak (Buzás 2022).

Az a tény, hogy az exoszómák a tumorszövet tucatnyi sejt típusa között folyamatosan közvetítenek antigéneket, növekedési faktorokat, citokineket, lipid jelmolekulákat, mRNS-eket és nemkódoló egyéb RNS-eket, fontos szerepet játszik az immunuszuppresszív tumor mikrokörnyezet kialakításában. Az EV-k érújdonképződést indítanak, szerepet játszanak a makrofágok polarizációjában, modulálják a lipid mediátorok anyagcseréjét, mindezzel segítve a „tumor escape” jelenség kialakulását (Zhang et al. 2020; Qiu et al. 2024).

A daganatos sejtek életének fontos lépése az EMT (epithelial-mesenchymal transition), amikor epiteliális sejtek időlegesen mezenchimális fenotípusúakká alakulnak át. Ez szerepet játszik a malignitás kialakulásában, a primer tumor növekedésében, az invázióban éppúgy, mint a metasztázisok kialakulásában, a kolonizációban. Szinte természetes, hogy ezt a folyamatot is exoszómák által hordozott RNS-ek szabályozzák (Jiang et al. 2022; Yang et al. 2024; D’Antonio–Liguori 2024; Jiang et al. 2024).

Az anya és a magzat kapcsolatának korai fázisaiban fontos szerepet játszanak az EV-k és a bennük szállított RNS-ek. A petefészek és a petevezető sejtjei által termelt exoszómák meghatározó szerepet játszanak a korai embrió normális fejlődésében. A EV-k mRNS-tartalma szabályozza azoknak a géneknek az aktivitását is, amelyek szerepet játszanak az implantáció során a trofoblaszt és az endometrium kapcsolatának kialakulásában és az invázióban (Mazzarella et al. 2024; Cuman et al. 2015).

A mikroglia sejtek, az agy rezidens immunsejtjei fontos szerepet töltenek be a központi idegrendszer homeosztázisában, de a betegségek kialakulása vagy sérülések, kóros állapotok javítása során is meghatározó a működésük. Több közlemény is beszámolt a mikroglia szerepéről a szomszédos idegsejtek axonjainak növekedése, irányítása és a szinaptikus plaszticitásnak a kialakulása során, amelyben fontos szerepük van az exoszómáknak és azok miRNS-einek (Ghosh–Pearse 2024).

Chengcheng Zhao és munkatársai írták le, hogy a traumás gerincvelő-sérüléseket követően a mikroglia eredetű exoszómális miR5121 mennyisége drasztikusan lecsökkent, ami gátolta a neuritok növekedését és a szinapszisok visszaalakulását. Egy állatmodellben bizonyították, hogy a miR5121 túltermelésével sikerült az axonális és szinaptikus defektusokat részlegesen helyreállítani, mind *in vitro*, mind *in vivo* (Zhao 2021).

A fentieket figyelembe véve nem meglepő, hogy számos kutatócsoport lát lehetőséget abban, hogy megfelelő molekulákat hordozó, természetes vagy mesterséges exoszómákat használjon fel terápiás eszközként központi idegrendszeri betegségek kezelésére (Li 2024).

A mitokondriumok – hasonlóan a szabadon élő baktériumokhoz – szintén termelnek vezikulumokat (MDV). Ezek egy része a mitokondrium minőségbiztosításában játszik szerepet. Ezek szállítják a károsodott fehérjéket, lipideket stb. a lizoszómákhoz. Más MDV-k a szervecskék közötti kommunikációban, a peroxiszómák biogenezisében, a mitokondriális antigének bemutatásában vesznek részt (Picca et al. 2020). Egyre több adat sugallja, hogy az *extracelluláris* váló MDV-knek a szöveti regenerációban is szerepük lehet.

4. „Királyságok közötti” (interkingdom) harci üzenetek

A Nobel-díjas Emmanuelle Charpentier és James Tsatsaronis vetette fel, hogy a EV-k és a bennük szállított RNS-molekulák egy, az élővilágban univerzálisan működő kommunikációs mechanizmust képeznek a különféle sejtek, a különféle egyedek és a különféle fajok között. Ennek szerepe van mind a kollaboratív kapcsolatokban, mind az egymás elleni, túlélésért folytatott harcban (Tsatsaronis et al. 2018).

Egyre többet tudunk meg a gazdaszervezetek és mikrobiális partnereik kapcsolatáról. Egyre jobban látszik, hogy ezek a nanoméretű üzenetek milyen fontos szerepet játszanak a mikrobák egymás közötti kommunikációjában. De befolyásolni tudják a gazda és a mikrobiom sejtjei közötti kapcsolatot is. A bakteriális EV-k bekerülnek a vérkeringésbe, eljutnak szerveinkbe (Celluzzi–Masotti 2016; Dauros–Singorenko et al. 2018; Tarashi et al. 2022; Margutti–D’Ambrosio–Zamboni 2024).

A bakteriális extracelluláris vezikulák (BEV) nemkódoló RNS-eket és transzfer RNS-ek töredékeit tartalmaznak. Ezek az RNS-molekulák a gazda mRNS-einek átíródását gátolják azáltal, hogy azok iniciációs helyeihez képesek kötődni komplementer szakaszaikkal, vagy az eukarióták géncsökkentő mechanizmusát (RISC) felhasználva (Dauros-Singorenko et al. 2018). *E. coli*, *V. cholera* és *S. mutans* sejtek vezikulumaiban előfordulnak olyan RNS-molekulák, amelyek képesek a gazdaszervezet sejtjeiben epigenetikai módosításokat kiváltani. A bakteriális EV-k RNS-ei – felhasználva a gazdaszervezet RISC-mechanizmusát és kromatinmódosító enzimjeit vagy transzkripciósfaktorokhoz kötődve – epigenetikailag módosítják a sejt génaktivitását, anyagcseréjét, működését (Stanton 2021).

Az intracelluláris kórokozó *Mycobacterium marinum* olyan kis RNS-eket juttat be a makrofágokba, amelyek a gazda RISC-komplexével gátolják meg a sejt saját géneinek működését. A *Salmonella enterica* RNS-einek egyike, a *PinT*, gátolja a gazdaszervezet működését, és elősegíti a baktérium virulenciagéneinek kifejeződését. Az inszervadást okozó baktériumok EV-i (OMV-k) miRNS-méretű RNS-eket juttatnak a sejtjeinkbe, amelyek például a T-sejteket interleukinek (IL-5, 13, 15) termelésére serkentik. A *Pseudomonas aeruginosa* OMV-k által hordozott metionin tRNS-e a légúti epitélisejtekben megakadályozza az IL-8 termelődését.

De mi is képesek vagyunk befolyásolni a velünk élő mikrobák aktivitását. A prokariótákban nincsenek meg a RISC-rendszer tagjai, ezért korábban nem gondoltuk, hogy a miRNS-ek képesek lennének hatást gyakorolni a baktériumok géneinek működésére. Azonban kiderült, hogy a bél epitélisejtek által termelt miRNS-ek bejutnak a baktériumokba, és befolyásolják azok géneinek működését és a sejt szaporodását! Ez azt mutatja, hogy a baktériumok rendelkeznek valamilyen sajátos kis RNS-függő génszabályozási mechanizmussal. A bél epitél-, Paneth- és gobletsejtek eltérő miRNS-eket termelnek, az egér fekális EV-kból 283 miRNS-féleséget sikerült kimutatni! A mesterségesen előállított miRNS-hiányos egerekben bélgyulladást és kontrollálatlan bakteriális szaporodást tapasztaltak, amit sikeresen normalizálni lehetett a vad típusú egerek székletéből izolált miRNS-ekkel (Liu et al. 2016).

Hailing Jin és munkacsoportja tárta fel a növény és gomba kórokozója között dúló vezikuláris háború részleteit (Weiberg et al. 2013). A *Botrytis cinerea* (szürkepenész) egy növényi kórokozó gomba, amely vagy 200 gazdanövényt képes károsítani. A gomba a tetraspannin család Puchless-1 fehérjéjét tartalmazó vezikulákat termel, amelyek egy Bc-sRNS-t hordoznak, és klatrinmediált endocitózissal jutnak be a kísérleti gazdanövény, az *Arabidopsis thaliana* (lúdfű) sejtjeibe. A gomba RNS-e ezután a gazda Ago1-fehérjéjét felhasználva alakítja ki a RISC-komplexet, amely a gomba elleni rezisztenciagének csökkentését végzi (Weiberg et al. 2013; He et al. 2023)!

A növény felveszi a harcot, EV-eket termel a plazmamembrán és a sejtfa közötti apoplaszt részébe, amelyek miRNS-ek és siRNS-ek speciális koktéljával képesek meggátolni a kórokozó géneinek működését. Két mRNS is átkerül a gombasejtbe, ahol fehérjévé átíródva károsítja azok működését (Wang et al. 2024).

A vezikuláris hadviselés jellegzetes képviselői a parazita férgek, számukra életfontosságú a gazdaszervezet immunitásának manipulálása (Buck et al. 2014).

Az egereket fertőző bélféreg, a *Heligmosomoides polygyrus* EV-ket termel, amelyek fehérjéi hasonlítanak az emlősök exoszómális fehérjéire. A bezárt miRNS-ek mellett megtalálták a RISC-komplexhez szükséges argonautafehérje féreg változatát is: nem bízza a gazdára a géncsendesítést! A *H. polygyrus* miRNS-ek egyik célpontja a gazda Dusp1 foszfataz génje, amely szerepet játszik a sejtciklusban és a sejtek apoptózisában (White et al. 2020).

A férgek elleni immunválasz Th2 típusú, érthető, hogy számukra előnyös ennek bénítása. A féreg exoszómák kísérleti egerekben csökkentették a Th2 típusú immunválaszt, például az allergén indukálta eozinofíliát. Ez azt a megfigyelést is magyarázza, hogy a bélféreg jelenléte autoimmun betegekben tompítja a súlyos allergiás vagy asztmás tüneteket. Két bélféreg, a *Heligmosomoides bakeri* és a *Trichuris muris* EV szállította miRNS-einek összehasonlítása jelentős különbségeket tárt fel, ami arra mutat, hogy a férgek eltérő környezetben eltérő gének csillapításával érik el céljukat, alkalmazkodva a gazda genetikai adottságaihoz (White et al. 2020).

A *Trichuris trichiura* (ostorféreg) komoly egészségügyi és gazdasági gondot okoz a trópusi országokban. Az EV-k olyan antigéneket hordoznak, amelyek a fonálféreg számára életfontosságúak, ami egyúttal a vezikulumok patológiai jelentőségét is bizonyítja. A kutatók rájöttek, hogy az általa termelt EV-k felhasználhatók védőoltás kifejlesztésére (Shears 2018).

A többi nematódához, trematódához hasonlóan a *Litomosoides sigmodontis* bélféreggel fertőzött egerek szérumból is sikerült féreg eredetű miRNS-eket, riboszómális RNS-fragmenteket, tRNS-ek 5' végi darabjait tartalmazó EV-ket izolálni. A vezikulumok termelésének célja a makrofágok működésének befolyásolása. Az EV-termelés általános gyakorlata azt sugallja, hogy a férgek körében kiterjedten használt lehet a gazda (immunrendszerének) ilyen módon történő manipulálása (Quintana et al. 2019).

A fajok között a túlélésért folytatott küzdelem számtalan módon folyik, az extracelluláris vezikulák és azok RNS-ei által végrehajtott genetikai befolyásolás ezen eszközök egyike. Nagyon új ismeretek ezek, de kibontakozóban van egy roppant érdekes tudományterület. Az már most látható, hogy a feltárt ismeretek hasznosíthatóak lesznek majd mind az orvostudományban, mind növényi és állati élelmiszereink előállításában.

Irodalomjegyzék

- Amaral, Paulo P. et al. (2008). „The Eukaryotic Genome as an RNA Machine”. *Science*, 319/5871, 1787–1789. <https://doi.org/10.1126/science.1155472>.
- Berger, Shelley L. (2007). „The Complex Language of Chromatin Regulation During Transcription”. *Nature*, 447, 407–412. <https://doi.org/10.1038/nature05915>.
- Bernstein, Bradley E. – Meissner, Alexander – Lander, Eric (2007). „The Mammalian Epigenome”. *Cell*, 128, 669–681. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.01.033>.

- Buck, Amy H. et al. (2014). „Exosomes Secreted by Nematode Parasites Transfer Small RNAs to Mammalian Cells and Modulate Innate Immunity”. *Nature Communications*, 5, 5488. <https://doi.org/10.1038/ncomms6488>.
- Buzas, Edit I. (2022). „The Roles of Extracellular Vesicles in the Immune System”. *Nature Reviews Immunology*, 23, 236–250. <https://doi.org/10.1038/s41577-022-00763-8>.
- Celluzzi, Antonella – Masotti, Andrea (2016). „How Our Other Genome Controls Our Epi-Genome”. *Trends in Microbiology*, 24/10, 777–787. <https://doi.org/10.1016/J.Tim.2016.05.005>.
- Cuman, Carly et al. (2015). „Human Blastocyst Secreted microRNA Regulate Endometrial Epithelial Cell Adhesion”. *eBioMedicine*, 2/10, 1528–1535. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2015.09.003>.
- Czech, Benjamin et al. (2018). „piRNA-Guided Genome Defense: From Biogenesis to Silencing”. *Annual Review of Genetics*, 52, 131–157. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120417-031441>.
- D’Antonio, Concetta – Liguori, Giovanna L. (2024). „Dormancy and Awakening of Cancer Cells: The Extracellular Vesicle-Mediated Cross-Talk Between Dr. Jekyll and Mr. Hyde”. *Frontiers in Immunology*, 5/15, 1441914. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1441914>.
- Dauros-Singorenko, Priscila et al. (2018). „The Functional RNA Cargo of Bacterial Membrane Vesicles”. *FEMS Microbiology Letters*, 365, Fny023. <https://doi.org/10.1093/femsle/fny023>.
- Dawoud, Alyaa et al. (2022). „Circular RNAs: New Layer of Complexity Evading Breast Cancer Heterogeneity”. *Non-coding RNA Research*, 8/1, 60–74. <https://doi.org/10.1016/J.Ncrna.2022.09.011>.
- Drinneberg, Ines A. et al. (2009). „RNAi in Budding Yeast”. *Science*, 326/5952, 544–550. <https://doi.org/10.1126/Science.1176945>.
- Fire, Andrew et al. (1998). „Potent and Specific Genetic Interference by Double-Stranded RNA in *Caenorhabditis Elegans*”. *Nature*, 391, 806–811. <https://doi.org/10.1038/35888>.
- Ghosh, Mousumi – Pearse, Damien (2024). „The Yin and Yang of Microglia-Derived Extracellular Vesicles in CNS Injury and Diseases”. *Cells*, 13/22, 1834. <https://doi.org/10.3390/Cells13221834>.
- Hamilton, Andrew J. – Baulcombe, David Charles (1999). „A Species of Small Antisense RNA in Posttranscriptional Gene Silencing in Plants”. *Science*, 286/5441, 950–952. <https://doi.org/10.1126/science.286.5441.950>.
- He, Baoye et al. (2023). „Fungal Small RNAs Ride in Extracellular Vesicles to Enter Plant Cells Through Clathrin-Mediated Endocytosis”. *Nature Communications*, 14, 4383. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40093-4>.
- Jan, Arif Tasleem (2017). „Outer Membrane Vesicles (Omvs) of Gram-Negative Bacteria: A Perspective Update”. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1053. <https://doi.org/10.3389/Fmicb.2017.01053>.
- Jeck, William R. – Sharpless, Norman E. (2014). „Detecting and Characterizing Circular RNAs”. *Nature Biotechnology*, 32/5, 453–461. <https://doi.org/10.1038/Nbt.2890>.
- Jiang, Jingyuan et al. (2024). „Exosomal Long Non-Coding RNAs in Lung Cancer: A Review”. *Medicine (Baltimore)*, 103/51, E38492. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000038492>.
- Jiang, Jingwen et al. (2022). „Exosomes Regulate the Epithelial–Mesenchymal Transition in Cancer”. *Frontiers in Oncology*, 12, 864980. <https://doi.org/10.3389/Fonc.2022.864980>.
- Johnstone, Rose M. et al. (1987). „Vesicle Formation During Reticulocyte Maturation. Association of Plasma Membrane Activities with Released Vesicles (Exosomes)”. *Journal Biological Chemistry*, 262/19, 9412–9420. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)48095-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)48095-7).
- Lee, Eun-Young et al. (2009). „Gram-Positive Bacteria Produce Membrane Vesicles: Proteomics-Based Characterization of *Staphylococcus Aureus*-Derived Membrane Vesicles”. *Proteomics*, 9, 5425–5436. <https://doi.org/10.1002/Pmic.200900338>.
- Lee, Heon-Jin (2019). „Microbe-Host Communication by Small RNAs in Extracellular Vesicles: Vehicles for Transkingdom RNA Transportation”. *International Journal of Molecular Sciences*, 20/6, 1487. <https://doi.org/10.3390/Ijms20061487>.
- Lee, Rosalind C. – Feinbaum, Rhonda L. – Ambros, Victor (1993). „The *C. Elegans* Heterochronic Gene *lin-4* Encodes Small RNAs with Antisense Complementarity to *lin-14*”. *Cell*, 75/5, 843–854. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(93\)90529-Y](https://doi.org/10.1016/0092-8674(93)90529-Y).

- Li, Jingrun et al. (2024). „Exosomes in Central Nervous System Diseases: A Comprehensive Review of Emerging Research and Clinical Frontiers”. *Biomolecules*, 14/12, 1519. <https://doi.org/10.3390/Biom14121519>.
- Liu, Junfeng et al. (2021). „Extracellular Membrane Vesicles and Nanotubes in Archaea”. *MicroLife*, 10/2, uqab007. <https://doi.org/10.1093/femsm/10.2.007>.
- Liu, Shirong et al. (2016). „The Host Shapes the Gut Microbiota Via Fecal MicroRNA”. *Cell Host Microbe*, 19, 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2015.12.005>.
- Lötvall, Jan – Valadi, Hadi (2007). „Cell to Cell Signalling Via Exosomes Through EsRNA”. *Cell Adhesion & Migration*, 1/3, 156–158. <https://doi.org/10.4161/Cam.1.3.5114>.
- Margutti, Paola – D’Ambrosio, Antonella – Zamboni, Silvia (2024). „Microbiota-Derived Extracellular Vesicle as Emerging Actors in Host Interactions”. *International Journal of Molecular Sciences*, 25/16, 8722. <https://doi.org/10.3390/ijms25168722>.
- Mazzarella, Roseane et al. (2024). „Extracellular Vesicles: Emerging Paradigms in Bovine Embryo-Maternal Communication”. *Animal Reproduction*, 21/3, E20240065. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2024-0065>.
- Mills, Joshua – Erdmann, Susanne (2022). „Isolation, Purification, and Characterization of Membrane Vesicles from Haloarchaea”. *Methods in Molecular Biology*, 2522, 435–448. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2445-6_30.
- Ortega Jacob et al. (2024). „Pachytene piRNAs Control Discrete Meiotic Events During Spermatogenesis and Restrict Gene Expression in Space and Time”. *Science Advances*, 10/40, eadp0466. <https://doi.org/10.1126/Sciadv.Adp0466>.
- Picca, Anna et al. (2020). „Generation and Release of Mitochondrial-Derived Vesicles in Health, Aging, and Disease”. *Journal of Clinical Medicine*, 9/5, 1440. <https://doi.org/10.3390/jcm9051440>.
- Qiu, Haiyan et al. (2024). „Application of Exosomes in Tumor Immunity: Recent Progresses”. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 12, 1372847. <https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1372847>.
- Quintana Juan F. et al. (2019). „Comparative Analysis of Small RNAs Released by the Filarial Nematode *Litomosoides Sigmodontis* in Vitro and in Vivo”. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 13/11, E0007811. <https://doi.org/10.1371/Journal.Pntd.0007811>.
- Sakshi, Shukla et al. (2021). „Role of circRNA-miRNA-mRNA Interaction Network in Diabetes and Its Associated Complications”. *Molecular Therapy Nucleic Acids*, 26, 1291–1302. <https://doi.org/10.1016/j.omtn.2021.11.007>.
- Sebastian-Delacruz, Maialen et al. (2021). „The Role of lncRNAs in Gene Expression Regulation through mRNA Stabilization”. *Non-Coding RNA*, 7/1, 3. <https://doi.org/10.3390/Ncrna7010003>.
- Shears, Rebecca K. et al. (2018). „Extracellular Vesicles Induce Protective Immunity Against *Trichuris Muris*”. *Parasite Immunology*, 40/7, E12536. <https://doi.org/10.1111/Pim.12536>.
- Stanton, Bruce A. (2021). „Extracellular Vesicles and Host–Pathogen Interactions: A Review of Inter-Kingdom Signaling by Small Noncoding RNA”. *Genes*, 12/7, 1010. <https://doi.org/10.3390/Genes12071010>.
- Statello, Luisa et al. (2021). „Gene Regulation by Long Non-Coding RNAs and Its Biological Functions”. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 22, 96–118. <https://doi.org/10.1038/S41580-020-00315-9>.
- Tarashi, Samira et al. (2022). „Commensal and Pathogenic Bacterial-Derived Extracellular Vesicles in Host-Bacterial and Interbacterial Dialogues: Two Sides of the Same Coin”. *Journal of Immunology Research*, 1, 8092170. <https://doi.org/10.1155/2022/8092170>.
- Tjaden, Brian et al. (2006). „Target Prediction for Small, Noncoding RNAs in Bacteria”. *Nucleic Acids Research*, 34/9, 2791–2802. <https://doi.org/10.1093/Nar/Gkl356>.
- Tsatsaronis, James A. et al. (2018). „Extracellular Vesicle RNA: A Universal Mediator of Microbial Communication?” *Trends in Microbiology*, 26/5, 401–410. <https://doi.org/10.1016/j.Tim.2018.02.009>.
- Valadi, Hadi et al. (2007). „Exosome-Mediated Transfer of mRNAs and microRNAs Is a Novel Mechanism of Genetic Exchange Between Cells”. *Nature Cell Biology*, 9/6, 654–659. <https://doi.org/10.1038/Ncb1596>.

- Wang, Shumei et al. (2024). „Plant mRNAs Move into a Fungal Pathogen Via Extracellular Vesicles to Reduce Infection”. *Cell Host & Microbe*, 32/1, 93–105.E6.
- Weiberg, Arne et al. (2013). „Fungal Small RNAs Suppress Plant Immunity by Hijacking Host RNA Interference Pathways”. *Science*, 342/6154, 118–123. <https://doi.org/10.1126/Science.1239705>.
- White, Ruby et al. (2020). „Extracellular Vesicles from *Heligmosomoides bakeri* and *Trichuris muris* Contain Distinct microRNA Families and Small RNAs That Could Underpin Different Functions in the Host”. *International Journal for Parasitology*, 50/9, 719–729. <https://doi.org/10.1016/J.ijpara.2020.06.002>.
- Yáñez-Mó, Maria et al. (2015). „Biological Properties of Extracellular Vesicles and Their Physiological Functions”. *Journal of Extracellular Vesicles*, 4/1, 27066. <https://doi.org/10.3402/Jev.V4.27066>.
- Yang Qing et al. (2024). „Non-Coding RNA in Exosomes: Regulating Bone Metastasis of Lung Cancer and Its Clinical Application Prospect”. *Translational Oncology*, 46 (2024. aug.), 102002. <https://doi.org/10.1016/J.Tranon.2024.102002>.
- Yu, Lina et al. (2023). „Apoptotic Bodies: Bioactive Treasure Left Behind by the Dying Cells with Robust Diagnostic and Therapeutic Application Potentials”. *Journal of Nanobiotechnology*, 21, 218. <https://doi.org/10.1186/S12951-023-01969-1>.
- Zhang, Peng-Fei et al. (2020). „Cancer Cell-Derived Exosomal circUHRF1 Induces Natural Killer Cell Exhaustion and May Cause Resistance to Anti-PD1 Therapy in Hepatocellular Carcinoma”. *Molecular Cancer*, 19/1, 110. <https://doi.org/10.1186/S12943-020-01222-5>.
- Zhao, Chengcheng et al. (2021). „Decreased Level of Exosomal miR-5121 Released from Microglia Suppresses Neurite Outgrowth and Synapse Recovery of Neurons Following Traumatic Brain Injury”. *Neurotherapeutics*, 18/2, 1273–1294.

A tároló jellegű neurális hálózat alkalmazhatósága a napaktivitás előrejelzésében

Applicability of Reservoir Computing (Echo State Network) to Solar Activity Prediction

Forgács-Dajka Emese¹ – Kovács Tamás² – Góra-Gálik Barbara³

¹ PhD, Eötvös Loránd Tudományegyetem Csillagászati Tanszék, Budapest;
HUN-REN-SZTE Sztelláris Asztrofizikai Kutatócsoport
e.forgacs-dajka@astro.elte.hu

² PhD, Eötvös Loránd Tudományegyetem Atomfizikai Tanszék, Budapest;
HUN-REN-ELTE Extragalaktikus Asztrofizikai Kutatócsoport, Budapest
tamas.kovacs@ttk.elte.hu

³ MSc, Eötvös Loránd Tudományegyetem Csillagászati Tanszék, Budapest
galikova.barbara@ttk.elte.hu

Összefoglalás

A Föld körüli térség viszonyait alapvetően a Nap mágneses tere határozza meg, amely különféle térbeli és időbeli skálákon változik. A Nap sugárzásában lehetnek évtizedes ingadozások, és felléphetnek rövid távú, intenzív jelenségek, például napkitörések és koronaanyag-kidobódások. Ezek az események befolyásolják az űridőjárást és az űrklímát, közvetlenül érintve bolygónk légkörét és a földi, valamint az űrbeli technológiai rendszereket. Ezért a naptevékenység előrejelzése nem csupán tudományos szempontból fontos, hanem gyakorlati jelentőséggel is bír. A tároló jellegű neurális hálózatok (Reservoir Computing) olyan előnyöket nyújtanak a napaktivitás előrejelzésében, amelyeket a korábbi módszerek nem tudtak biztosítani. E tanulmány célja, hogy bemutassa ezen hálózatok főbb jellemzőit, kiemelve azok rugalmasságát és adaptivitását, ugyanakkor rámutatva bizonyos korlátokra is, amelyeket más módszerek alkalmazásával igyekszünk kiküszöbölni. A naptevékenység előrejelzése összetett feladat, azonban a neurális hálózatok innovatív megközelítéseket kínálnak a komplex adatok feldolgozására és előrejelzések készítésére.

Abstract

The space environment around the Earth is essentially determined by the solar magnetic field, which varies over different spatial and temporal scales. Solar radiation can vary on decades-long time scales, and short-term intense phenomena such as solar flares and coronal mass ejections also occur. These events affect space weather and space climate, directly affecting our planet's atmosphere and technological systems on Earth and in space. Predicting solar activity is therefore not only important from a scientific point of view, but also has practical implications. The Reservoir Computing Network (RCN) offers advantages in predicting solar activity that previous methods could not provide. The aim of this paper is to present the main features of these networks, highlighting their flexibility and adaptability, while also pointing out some limitations that we try to overcome by using other methods. Predicting solar activity is a complex task, but neural networks offer innovative approaches to processing complex data and making predictions.

Kulcsszavak: napaktivitás, idősor-analízis, gépi tanulás, űridőjárás

Keywords: solar activity, time series analysis, machine learning, space weather

Bevezetés

Az elektromágneses sugárzásból és részecskékből álló környezetet a Föld körül alapvetően a Nap mágneses tere határozza meg. Ezt a hatást nem korlátozhatjuk csupán bolygónkra vagy a nagybolygók által bejárt tartományokra, mivel a teljes helioszféra – az a térrész, amelyet a Napból kiáramló plazma, más néven napszél ural – messze túlterjed a Nap–Föld-távolság százszorosán. A Nap mágneses terének változékonysága különböző térbeli és időbeli skálákon nyilvánul meg: a napsugárzás hosszú távú, évtizedes változásaitól kezdve a rövid időskálájú, sporadikus, energikus eseményekig, mint a napkitörések és a koronaanyag-kidobódások (coronal mass ejection, CME).

Míg a hosszabb idejű változások a Nap nagy léptékű, globális mágneses terének eloszlásától és fejlődésétől függenek, addig a rövid időskálájú zavarok, például a CME-k vagy a napkitörések elsősorban a kisebb térbeli léptékű, lokalizált mágneses struktúrákból erednek. A Nap mágneses terének különböző időbeli és térbeli skálákon zajló változásai összefonódhatnak, és kölcsönösen befolyásolhatják egymást, mivel mindegyik ugyanazon fizikai törvényeket követi. Végso soron tehát a Nap globális mágneses tere és az abban bekövetkező változások alakítják az űridőjárást és az űrklímát.

A szélsőséges űridőjárási eseményekből, napkitörésekből vagy CME-kből származó nagyenergiás részecskeáramok károsíthatják a földi és űrbeli technológiai rendszereket, így problémákat okozhatnak a kommunikációs és navigációs hálózatokban, az energiaellátásban és egyéb szolgáltatásokban. A napkitörések és a CME-k a napfelszínen megfigyelhető mágneses tér eloszlásához kapcsolódnak, amelyet a napfoltok megjelenése, illetve az aktív régiók mágneses terének fejlődése dominál. Ezen rövidebb életű, de energikus események gyakorisága az adott napcikluson belül megjelenő napfoltok számától függ.

Az egyedi foltok mágneses terének hosszabb-rövidebb időskálákon való fejlődése befolyásolja a Nap globális terét is, így a Napból kiáramló napszél sebességét és szerkezetét, gyakorlatilag meghatározva az űrklímát. Közvetlen hatással van a bolygók légkörére, a különböző műholdak élettartamára és a jövőbeli űrmissziók tervezésére. Az űridőjárást és az űrklímát meghatározó jelenségek megértése és előrejelzése ezért társadalmi jelentőségű tudományos kihívásként áll előttünk.

A napaktivitás és előrejelzésének módszertana

Már a bevezetésben is hangsúlyoztuk, hogy az űridőjárást és az űrklíma alapját a Nap mágneses terének periodikus változásai és azok különféle megnyilvánulásai képezik. Idetartoznak például a napfoltok, valamint azok keletkezésének, fejlődésének és dinamikájának környezetre gyakorolt hatásai. Így az űrkörnyezetünk megismerésére, felmérésére és előrejelzésére irányuló törekvések szorosan kapcsolódnak a Nap mágneses ciklusának megértéséhez. Ma már szinte teljes egyetértés van abban, hogy a mágneses ciklus a Nap belsejében fellépő plazmaáramlások eredménye. Abban viszont már nincs teljes konszenzus, hogy ezen induktív áramlások milyen természetű-

ek, és a különféle lehetséges áramlások mekkora részben járulnak hozzá a napdinamó működéséhez. A nagy léptékű mágneses teret generáló dinamó alapvető koncepciója az, hogy a poloidális és a toroidális mezők kölcsönösen fenntartják egymást.¹ A dinamómodellek szinte mindegyikében a legjelentősebb szerep a toroidális tér létrehozásában a nyírás, amelyet a Nap belsejének differenciális rotációja² biztosít (Ω -effektus).

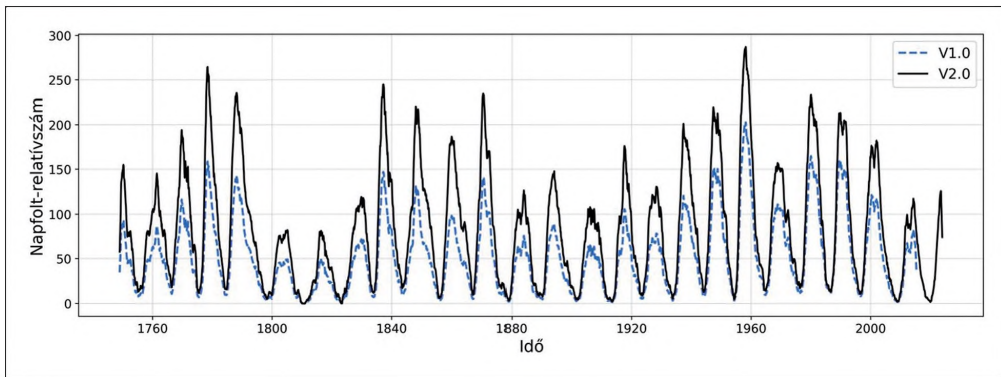
Viszont számos ellentmondásos mechanizmus létezik a poloidális mező regenerálására, ahol az eltérő elképzelések különböző modelleket eredményeznek. A két legelfogadottabb az $\alpha\Omega$ átlagtér-dinamó és a Babcock–Leighton-féle dinamómodell (BL-modell), amelyek különböző mechanizmusokon alapulnak, de közös céljuk a Nap mágneses ciklusának magyarázata. Mindkét modell az Ω -hatást „használja” a toroidális térkomponens létrehozására, de az $\alpha\Omega$ átlagtér-dinamó a turbulens konvekció kölcsönhatására épül, míg a BL-modell a napfoltok megjelenésére és evolúciójára koncentrál, és különösen fontos szerepet tulajdonít a fluxusfeltörésnek és a kapcsolódó diffúziós folyamatoknak. Az α -effektus alapján a konvektív zónában lévő turbulens mozgások és helikális áramlások miatt az erős toroidális mező egy része újra poloidális térré alakul. Ez a folyamat a turbulens diffúzió révén történik, amely a mágneses fluxus csavarodásával és visszacsatolásával jár. A BL-modell esetében a differenciális rotáció hatására kialakuló toroidális mező miatt napfoltok jelennek meg a felszínen. A napfoltokban erős a mágneses tér, és a mágneses fluxus felszínre törése során jelentősek a toroidális komponensek. Amikor a napfoltok elbomlanak, a bennük tárolt mágneses fluxus felszabadul, amelyet a meridionális áramlások és a diffúziós folyamatok eloszlatnak, és poloidális mezővé alakítanak. Ez a poloidális mező a következő ciklus során újra toroidális mezővé alakul a differenciális rotáció révén, így hozva létre a napciklust. Mindkét modell sikeresen magyarázza a Nap mágneses ciklusának alapvető jellemzőit, például a napfoltciklus 11 éves periódusát és a pólusok mágneses mezőjének átváltását, de különböző erősségeik és gyengeségeik vannak, és a jelenlegi kutatások gyakran ezek kombinációját használják a Nap mágneses dinamikájának átfogóbb megértéséhez.

Ideális esetben elvárható lenne, hogy a napdinamó mechanizmusának megértésében elért előrehaladások és a napciklus pontos előrejelzésének módszertani fejlődése egyensúlyban legyenek egymással. Ez az elvárás azt jelentené, hogy a napciklus előrejelzésére tett kísérleteknek be kell építeniük a napciklus megfigyeléséből származó korlátokat, és képesnek kell lenniük a naptevékenységi ciklus térbeli és időbeli változatosságának legtöbb, ha nem az összes jellemzője megmagyarázására. Ez az igen

¹ Mivel első közelítésben a Nap globális mágneses tere a forgástengely körül tengelyszimmetrikus, míg az egyenlítő síkjára antiszimmetrikus, emiatt célszerű a teret egy toroidális, vagyis az egyenlítővel párhuzamos és egy poloidális, vagyis a meridiánsíkban található komponens összegeként kifejezni.

² A Nap különböző szélességű területei más-más szögsebességgel forognak a Nap tengelye körül: az egyenlítői területek gyorsabban, míg a pólushoz közelebbi területek lassabban forognak. A differenciális rotáció a napfelső felső egyharmadára jellemző, a mélyebben fekvő rétegek már merev testként forognak.

szigorú elv vezérli a *fizikai vagy modellalapú előrejelzéseket*, azzal a további feltétellel, hogy ezen előrejelzéseknek a Nap mágneses mezőjének fejlődését leíró magnetohidrodinamikai modelleken kell alapulniuk. Mindazonáltal számos egyéb technikát is alkalmaznak a napciklus előrejelzésére, közöttük olyanokat, amelyeknek semmi közük sincs az alapul szolgáló fizikához, és olyanokat is, amelyek ebből merítenek ihletet (lásd például Petrovay Kristóf [2020] áttekintő tanulmányát).



1. ábra. A napfolt-relatívszám idősora

A szaggatott görbe a korábban használt értékeket mutatja, míg a folytonos görbe a felülvizsgált napfolt-relatívszámot

Forrás: saját szerkesztés a SILSO/Belga Királyi Obszervatórium adatai alapján

Mielőtt rátérünk a különböző módszerekre, vessünk egy pillantást a korlátokat adó megfigyelésekre. Mint már említettük, a dinamó által létrehozott mágneses tér toroidális komponense a felhajtóerő hatására kiemelkedik a Nap felszínére, létrehozva a napfoltokat, amelyek tehát erősen mágnesezett és a felszínhez képest viszonylag sötétebb (alacsonyabb hőmérsékletű) régiók. Ezen képződményeket több mint négy évszázada folyamatosan megfigyelik, kezdve Galileo Galilei úttörő észleléseivel. Ezek a hosszú távú megfigyelések egyszerre világítanak rá a naptevékenységi ciklus különböző aspektusaira, valamint fontos korlátokat szabnak a Napban működő dinamómechanizmusra, és ösztönzik a napciklus előrejelzésére irányuló különböző megközelítéseket. Ám tisztában kell lennünk azzal is, hogy ezek a megfigyelések milyen módon készültek, milyen hibákat tartalmazhatnak. A leghosszabb ilyen jellegű idősorok egyetlen közvetlen megfigyelésre épülnek: a napfoltok vizuális észlelések alapján kapott számára. Jelenleg az aktivitás vizsgálatára főleg a következő két adatsort használjuk: az 1849-ben Rudolf Wolf által definiált napfolt-relatívszámot és a nemrégiben Douglas. V. Hoyt és Kenneth H. Schatten (1998) által meghatározott csoportszámot. Sajnos ezen két adatsor több szempontból nem egyezik meg egymással, ami zavart és ellentmondásokat okoz, amikor például a napdinamó vagy a Nap földi klímára gyakorolt hatásának tanulmányozása során használják ezeket. Ezért újabb erőfeszítések indultak a napfoltokat tartalmazó adatsorokat érintő hi-

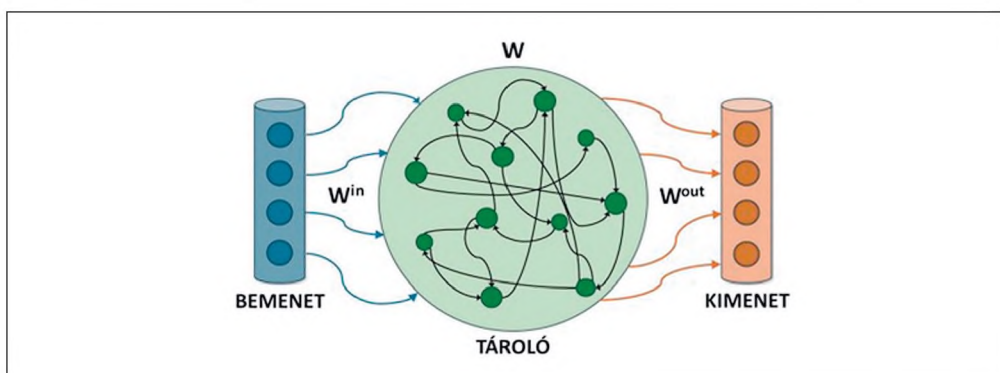
bák és torzítások diagnosztizálására és javítására (Clette et al. 2015). Ennek keretében 2015-ben felülvizsgálták a napfolt-relatívszámot tartalmazó adatsorokat, amelyet az 1. ábra mutat be (az új V2.0 verzió 2015-ben került frissítésre a Belga Királyi Obszervatórium által gondozott SILSO-adatközpontban [„Sunspot Number Series: Latest Update”]). Az újonnan kapott idősorban olyan jelenségek is megfigyelhetők, amelyek befolyásolják a korábban alkalmazott fizikai modellekben használt paramétereket, illetve ezek alapján korrigálni kell a korábban elkészített előrejelzésekből kapott aktivitási mérőszámokat is.

A következőkben röviden áttekintjük az előrejelzésben használt egyéb technikákat, ugyanis az előrejelzési módszerek nem korlátozódnak kizárólag az eddig felvázolt fizikai modellezésre. Alapulhatnak (a) prekursor technikákon, (b) nemlineáris matematikai modellezésen, (c) statisztikai előrejelzéseken, (d) spektrális módszereken, (f) gépi tanuláson és neurális hálózatokon stb. Fontos megjegyezni, hogy a legtöbb előrejelzési technika, miként a prekursor módszer is, bizonyos mértékig figyelembe veszi a dinamó és a napciklus mögött húzódó fizikát is, anélkül, hogy számítógépes modellezést végezne. A fizikai és félempirikus módszerek mellett a másik igen gyakran alkalmazott eljárás a statisztikai módszer, amely múltbeli napaktivitási adatokból kiindulva próbálja megjósolni a jövőbeli aktivitást. Az idősorelemzés során a múltbeli napfolt-számok, napkitörések és egyéb naptevékenységi mutatók időbeli mintázatát vizsgálják, hogy azonosítsák a ciklikus és trendjellegű viselkedést. Az autoregresszív integrált mozgóátlagmodellek és a Fourier-analízis például gyakran használt módszerek az idősorelemzésekben. Ezen idősorelemzésekben kiindulva számos módszer létezik, amelyeket helyszűke miatt most nem kívánunk bemutatni. Mindenesetre több olyan tanulmány is született, amelyek félig empirikus és/vagy félig fizikai megközelítések alapján a 2008 decembere és 2019 decembere közötti 24. napciklus várható amplitúdóját próbálták előrejelezni. Sajnos az eltérő módszereken alapuló előrejelzésekből kapott ciklusamplitúdók széles skálán szórtak. Az előrejelzések alapján a ciklus erősségére kb. 50 és 250 közötti értékeket jósoltak a napfolt-relatívszámra, míg a valódi maximum értéke 116,4 volt. Az eddigiek alapján már jól érzékelhető, hogy az előrejelzés bonyolultságát az adja, hogy a naptevékenység mögött egy kváziperiodikus, stochasztikus folyamat húzódik meg, amely jelentősen megnehezíti a pontos prognózisok készítését.

Az itt felvázolt előrejelzési technikák közül jelen tanulmányban a neurális hálózatokon alapuló módszereket, azon belül az úgynevezett tároló jellegű neurális hálózatokat mutatjuk be. Választásunk azért esett erre a módszerre, mert számos előnye van, különösen a hagyományos statisztikai módszerekkel szemben. A teljesség igénye nélkül sorolunk fel néhányat: (a) képesek a bonyolult, nemlineáris összefüggéseket felismerni, (b) hatékonyan tudnak nagyobb mennyiségű adatot feldolgozni, (c) gyakran nagyobb pontosságot érnek el az előrejelzésekben, mint a hagyományos statisztikai módszerek, (d) képesek egyszerre többféle bemeneti adat kezelésére és azok összefüggéseinek vizsgálatára. A neurális hálózatok tehát jelentős előnyökkel bírnak a napaktivitás előrejelzésében, amely előnyök elsősorban az adatok mennyiségére és komplexitására, az előrejelzések pontosságára és az adaptivitásra vonatkoznak.

Tároló jellegű neurális hálózatok

A neurális hálózatok olyan gépi tanulási modellek, amelyek az emberi agy működését imitálják. Ezek a rendszerek képesek jelenségek felismerésére, lehetőségek mérlegelésére és következtetések levonására, hasonlóan ahhoz, ahogyan a biológiai neuronok együttműködnek az agyban. Minden neurális hálózat több rétegből áll, amelyek mesterséges neuronokat tartalmaznak: egy bemeneti réteg, egy vagy több rejtett réteg, valamint egy kimeneti réteg. A rétegek csomópontjai egymással kapcsolatban állnak, és mindegyiknek saját súlya és küszöbértéke van. Amikor egy csomópont kimenete meghaladja a megadott küszöbértéket, aktiválódik, és adatokat küld a hálózat következő rétegének. Ha nem haladja meg, az adat nem kerül továbbításra a következő réteg felé.



2. ábra. A tároló jellegű (RC) neurális hálózat felépítése: a három réteg (bemenet, tároló, kimenet), a hozzájuk tartozó súlyok (W^{in} , W , W^{out}), míg a nyilak a rétegek, illetve az egyes neuronok közötti kapcsolatokat reprezentálják

Forrás: saját szerkesztés

A tároló jellegű módszer (Reservoir Computing, RC) egy olyan számítási keretrendszer, amely a visszatérő neurális hálózatok (Recurrent Neural Network, RNN) elméletéből származik. Ez a keretrendszer a bemeneti jeleket egy magas dimenziós, dinamikusan változó állapotba ágyazza be, ami lehetővé teszi a komplex időbeli mintázatok és függőségek hatékony kezelését és előrejelzését. Ellentétben az egyirányú előrecsatolt neurális hálózatokkal, az RNN kétirányú hálózat, ami azt jelenti, hogy egyes csomópontok kimenete befolyásolhatja ugyanazon csomópontok későbbi bemeneteit. Az RNN-ek képesek belső állapotuk (azaz a memória) használatára, hogy tetszőleges bemeneti sorozatokat dolgozzanak fel, így különösen alkalmasak olyan feladatokra, mint például a beszédfelismerés vagy a pénzügyi idősorok elemzése. Az RC hasonlóan a hagyományos neurális hálózatokhoz alapvetően három részből áll (2. ábra): a bemeneti réteg, a rezervoár vagy tároló (egy rejtett réteg, ahol a neuronok kapcsolatban állnak egymással) és a kimeneti réteg. A bemeneti réteg a jeleket továbbítja a tárolóba, amely belső dinamikájával különféle állapotokat generál. Ezek

az állapotok tárolják a bemeneti információkat, és különböző időbeli összefüggéseket hoznak létre. A kimeneti réteg ezután lineáris súlyozással kombinálja a rezervoár állapotait, hogy megkapja a végső kimenetet. Az RC-rendszerek nagy előnye, hogy a tároló súlyai állandóak maradnak, és csak a kimeneti réteg súlyait kell tanítani, ami jelentősen csökkenti a számítási terheket és az időigényes tanulási folyamatot.

Az Echo State Network (ESN) az RC Herbert Jaeger (2001) által kifejlesztett specifikus megvalósítása. Az ESN egy visszacsatolt neurális hálózat, ahol a rezervoár neuronjai közötti kapcsolatok rögzítettek és véletlenszerűek, de a kapcsolati súlyok gondosan meg vannak választva annak érdekében, hogy biztosítsák a hálózat stabilitását. A rezervoár állapotait echo vagy visszhang állapotoknak nevezik, mivel az aktuális kimenet nagymértékben függ az előző állapotoktól, így emlékeztetve a rendszer korábbi állapotaira. Az ESN ennek megfelelően nagyon jól kezeli a hosszú távú függőségeket és időbeli mintázatokat, mivel a tároló állapotai képesek hosszú ideig tárolni az információt. A következőkben az ESN-nel kapott első eredményeinket mutatjuk be. Azért esett a választásunk az ESN-re, mert a visszatérő neurális hálózatok architektúráját és a felügyelt tanulás elvét biztosítják, miközben gyors és hatékony tanulást kínálnak. Mielőtt rátérünk eredményeink ismertetésére, az ESN még két fontos tulajdonságát említjük meg.

Az első – számunkra fontos – sajátosság, hogy az ESN két különböző előrejelzési módban működhet, amelyek jelentős különbségeket mutatnak az előrejelzési folyamatukban: az úgynevezett generatív és prediktív módban. Generatív módban a hálózat a tanítási szakaszt követően az idősor egy adott értékével kezdi az előrejelzést. Ezt az értéket használja az idősor következő értékének megjósolására, majd az előrejelzett értéket használja a rá következő érték meghatározásához. Így a hálózat folyamatosan generálja az idősort, minden egyes lépésben az általa előzőleg megjósolt értékekre támaszkodva. Ez a módszer különösen hasznos lehet olyan helyzetekben, ahol nincs hozzáférés a teljes idősorhoz, és az előrejelzések folytonossága kiemelten fontos. Ezzel szemben a prediktív mód azt jelenti, hogy a tanított hálózat mindig az idősor aktuális, ismert értékét használja a következő érték előrejelzésére. Minden egyes predikcióhoz szükség van az idősor egy valós adatpontjára, amelyből a hálózat a következő értéket megjósolja. Ez a megközelítés pontosabb lehet, mivel minden előrejelzéshez friss, valós adatot használ, ezáltal minimalizálva a kumulatív hibák felhalmozódását, ami a generatív módban előfordulhat. Mindkét módszernek vannak előnyei és alkalmazási területei. A generatív mód nagy előnye, hogy önállóan képes hosszú távú előrejelzések készítésére anélkül, hogy folyamatosan friss adatokra lenne szüksége. A prediktív mód pedig a pontosságot helyezi előtérbe, hiszen minden egyes előrejelzése megbízható, aktuális adatpontokon alapul. Az adott alkalmazás igényeitől függően választhatunk a két módszer közül annak érdekében, hogy a legmegfelelőbb előrejelzést kapjuk. Mivel esetünkben a cél az ismeretlen, következő napaktivitási ciklus előrejelzése, így munkánk során a *generatív* módot kell alkalmaznunk.

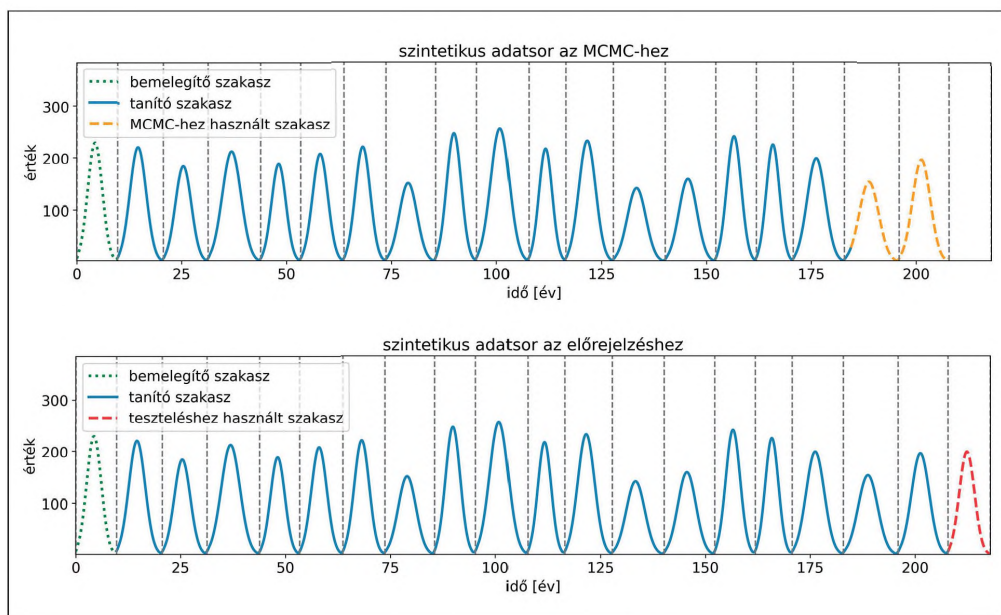
Az ESN egy másik fontos jellemzője, hogy a hálózat meta- vagy hiperparamétereit meghatározó szerepet játszanak a hálózat hatékonyságában és teljesítményében.

Röviden tekintsük át ezeket a paramétereket. (1) A *tároló mérete* határozza meg a tárolóban található neuronok számát. Minél nagyobb a tároló mérete, annál több információt képes tárolni és feldolgozni a hálózat. Az optimális méret megválasztása kulcsfontosságú, mivel a túl kicsi tároló kapacitása nem elég, míg a túl nagy tároló túlzott számítási erőforrásokat igényelhet. (2) A *spektrális sugár* a tároló visszacsatolási mátrixának legnagyobb abszolút értékű sajátértékét jelenti. Ez a paraméter befolyásolja a hálózat dinamikus viselkedését, különösen az időbeli összefüggések megőrzését. Hosszabb memóriát igénylő feladatok esetén a spektrális sugár értéke általában nagyobb kell hogy legyen a hálózat stabil működéséhez. (3) A *szívárgási arány* a tároló dinamikájának időben diszkretizált sebességét szabályozza. Beállítása lehetővé teszi a hálózat számára, hogy különböző időskálákon működjön, ami különösen fontos a dinamikus rendszerek modellezésénél. (4) Az *e.fogultság vagy torzítás* egy konstans érték, amelyet a neuronok bemeneti súlyaihoz adnak hozzá. Ez a paraméter biztosítja a hálózat számára, hogy jobban alkalmazkodjon a bemeneti jelekhez, és kiegyensúlyozza az eredményeket. (5) A *zaj* a bemeneti jelekhez adva csökkentheti a hálózat túlillesztését, azaz azt a jelenséget, amikor a hálózat túl pontosan illeszkedik a tanulási adatokhoz, de nem képes jól általánosítani új adatokra. (6) A tárolóban lévő neuronok közötti *kapcsolatok ritkasága* azt jelenti, hogy a neuronok átlagosan kevés más csomóponttal kapcsolódnak. Ez a paraméter csökkenti a számítási igényeket, és javítja a hálózat teljesítményét, különösen nagy tárolóméret esetén. Végül, de nem utolsósorban a (7) *regularizációs együttható*, amely a lineáris regresszió során használt együttható, segít megelőzni a túlillesztést, és javítja a modell általánosítási képességét. A regularizáció különösen fontos, amikor a hálózat nagy mennyiségű adatot dolgoz fel.

Ezen paraméterek optimalizálása és megfelelő beállítása tehát kulcsfontosságú az ESN hatékony működésének és optimális teljesítményének eléréséhez. Az általunk megalkotott ESN hiperparamétereinek finomhangolását az úgynevezett Markov-láncos Monte-Carlo-eljárás (Markov Chain Monte Carlo, MCMC) segítségével végeztük el. Az MCMC-módszer alapját a Markov-lánc képezi, ez olyan rendszert takar, amely véletlenszerűen változtatja állapotát, miközben a következő állapot kizárólag a jelenlegi állapot függvénye, az előző állapotoktól függetlenül. Ezt a tulajdonságot Markov-tulajdonságnak nevezzük. A Monte-Carlo-módszerek, amelyek véletlenszám-sorozatok generálásán alapulnak, szintén központi szerepet játszanak az MCMC-eljárásban. Az eljárás során két alapvető lépést alkalmazunk minden iterációban. Először is egy új állapotot javasolunk egy ismert valószínűségeloszlás vagy mechanizmus alapján. Másodsor döntést hozunk a javasolt állapot elfogadásáról egy valószínűségi szabály szerint. Az elfogadási döntés során alkalmazott szabály gyakran tartalmazza az elfogadási valószínűséget, amelynek alapján meghatározzuk, hogy a javasolt állapot elfogadásra kerül-e vagy sem. Amennyiben a javaslatot elutasítjuk, a rendszer az aktuális állapotban marad a következő lépésig. Az MCMC-technika lényege tehát abban rejlik, hogy a paraméterteret „sétálva” mintavételezi, ezáltal lehetővé teszi a modell paramétereinek hatékony és pontos becslését.

Az ESN neurális hálózat alkalmazása az előrejelzésben

A neurális hálózatok napaktivitás előrejelzésére történő alkalmazásával kettős célunk van. Egyrészt egy újabb eszközt kívántunk kifejleszteni a fizikai modellek mellett. Másrészt szeretnénk megvizsgálni, hogy mennyire és milyen módon használhatóak ezek a hálózatok olyan idősorok esetében, amelyeket kváziperiodikus, stochasztikus folyamatok vezérelnek. Első lépésként nem egy konkrét napaktivitási mutató idősorát alkalmaztuk az ESN betanítására, hanem szintetikus adatsorokkal dolgoztunk (3. ábra). Így lehetőségünk nyílt a hálózat analízisére, a súlyok és a különböző meta-paraméterek optimális értékeinek feltérképezésére, valamint annak vizsgálatára, hogy az adatsorok jellege miként befolyásolja a hálózat működését. Ha például részletesen megvizsgáljuk a napfolt-relatívszám idősorát (1. ábra), láthatjuk, hogy az egyes ciklusok ferde Gauss-görbékkel közelíthetőek. Az elemzéshez használt szintetikus adatsort ezért egymást követő ferde Gauss-eloszlásokból állítottuk elő. Az egyes illesztésekből nyert paramétereket – mint az amplitúdó (A), a periódus (P) (a maximum helyéből és a szórás nagyságából meghatározható) és a ferdeség (n) – vagy véletlenszerűen változtattuk meg bizonyos értékek között, vagy a valós adatsorra történt illesztésekből nyertük.



3. ábra. Szintetikus idősorok.

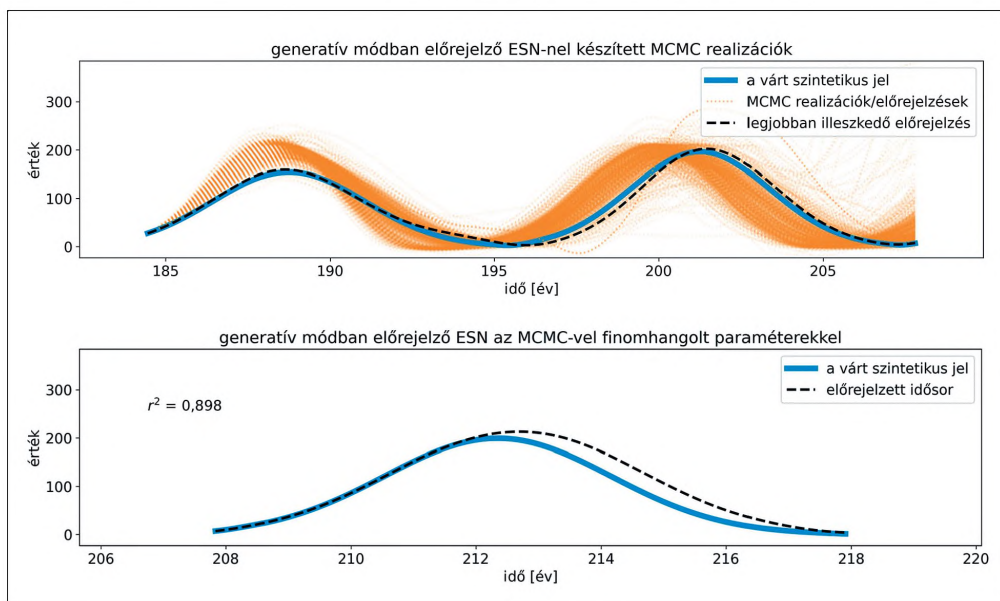
Az adatsorban a ferde Gauss-függvény paraméterei véletlenszerűen vannak változtatva ($A = [0,7,1,3]$, $P = [0,8,1,2]$, $n = [0,0,0,2]$).

A felső panel az MCMC-eljárásban,
míg az alsó a teszt során használt adatsor

Forrás: saját számítások alapján a szerzők által készített ábra

Mint már korábban említettük, az ESN neurális hálózat optimális működéséhez elengedhetetlen a megfelelő metaparaméterek meghatározása. Ennek érdekében a szintetikus adatsort négy részre osztottuk (3. ábra). Az első szakasz, amelyet angolul „burn-in” fázisnak nevezünk, a hálózat „bemelegítését” szolgálja. Ez biztosítja, hogy a hálózat elérje a stabil állapotot, eltüntetve a kezdeti, bizonytalan állapotok hatása- it, így lehetővé téve a paraméterek konvergálását. Az adatsor második, leghosszabb része a hálózat tanítására szolgál. A tanítási szakasz hossza attól függ, hogy az adat- sort a paraméterek optimalizálására vagy a tesztelésre használjuk-e; az utóbbi esetben hosszabb, mivel magában foglalja a korábbi optimalizáláshoz használt két ciklust is. A harmadik rész segítségével az MCMC-eljárás keretei között finomhangoljuk a hál- lózat paramétereit, keresve azokat a beállításokat, amelyek a legjobb eredményeket adják. Az utolsó szegmenst felhasználva az optimalizált paraméterekkel kapott ered- ményeket hasonlítjuk össze a tesztelés során előrejelzett adatsorral. Így a következő módon járunk el tehát az ESN neurális hálózat vizsgálatakor.

Először betanítjuk a hálózatot, majd a szintetikus adatsor MCMC-módszerhez használt két ciklusát generatív módon jelezzük előre, miközben finomhangoljuk a hálózat metaparamétereit. Az előrejelzések és az ismert adatok összevetésekor, ha



4. ábra. Az ESN neurális hálózattal kapott eredmények.

A felső panelen látható az MCMC-eljárás során kapott ezres nagyságrendű előrejelzés (apró pontokkal kirajzolt görbék), amelyből a legjobban illeszkedő előrejelzés (szaggatott vonal) adja a finomhangolt paramétereket.

Az alsó panelen a finomhangolt ESN előrejelzése látható, ahol feltüntetettük az úgynevezett r^2 értékét is, amelynek értéke egyhez közeli, jelezve, hogy a kapott előrejelzett idősor jól közelíti a vártat

Forrás: a szerzők saját szerkesztése

a hiba egy meghatározott értéknél kisebb, elfogadjuk az előrejelzést és a kapcsolódó paramétereket. Ellenkező esetben egy új „paramétercsomaggal” folytatjuk a számítást, mindaddig ismételve ezt a folyamatot, amíg egy megfelelően nagy számú (esetünkben ezres nagyságrendű) előrejelzést nem kapunk. Ezután a legjobb illeszkedést adó paramétercsomagot kiválasztva a mintából, az ESN-hálózatot generatív módon futtatjuk az utolsó, ismeretlennek feltételezett ciklus előrejelzésére. A szintetikus adatsor azonban lehetőséget ad arra, hogy az előrejelzés eredményét összehasonlítsuk az általunk létrehozott ciklussal – így ezt a ciklust úgy kezelhetjük, mintha ezt kapnánk majd az észlelésekből –, így értékelve a finomhangolt hálózat előrejelző képességét. Az első eredményeink biztatóak (4. ábra), és arra utalnak, hogy a neurális hálózatok potenciálisan alkalmazhatók a napaktivitás előrejelzésére.

Összefoglalás helyett további tervek

Vizsgálataink azt mutatják, hogy a ferde Gauss-eloszlások paramétereinek véletlenszerű változtatása befolyásolja az ESN neurális hálózat előrejelzési hatékonyságát. A ferdeségi paraméter nagyobb tartományon belüli változtatása esetén rosszabb előrejelzési mutatókat kaptunk, míg az amplitúdó esetében ez nem volt egyértelmű. Az ESN-hálózat érzékenységeinek alaposabb megértéséhez további részletes vizsgálatokra van szükség. Figyelmet kell fordítanunk a metaparaméterek optimalizálására is, hogy pontosabb és megbízhatóbb eredményeket érhessünk el. Meglepő lehet, de az ESN neurális hálózatok esetében a súlyok véletlenszerű generálása jelentős hatással van a hálózat teljesítményére és stabilitására. Jacob Reinier Maat és munkatársai (2019) tanulmánya az ESN-ek optimalizálásával foglalkozik, és hangsúlyozza, hogy a kezdeti súlyok véletlenszerűsége kritikus szerepet játszik a hálózat konvergenciájában és stabil állapotának elérésében. Így az optimális teljesítmény érdekében fontos a véletlenszám-generátor állapotának megfelelő kezelése. Ebből kifolyólag is felmerült annak lehetősége, hogy az ESN tárolójának súlyait nem véletlenszerűen osztjuk ki, hanem megpróbálunk beépíteni egy mögöttes fizikai képet. Így esett a választásunk az úgynevezett visszatérési térképek (recurrence plots, RP) használatára, amelyek időben változó dinamikai rendszerek viselkedésének vizuális elemzésére szolgálnak.

Az RP-k egy többdimenziós fázistérbeli pályát két dimenzióba vetítenek le, ahol a mátrix elemei azt jelzik, hogy a rendszer különböző időpontokban hasonló állapotban van-e. A visszatérési térképek fő előnye, hogy képesek felismerni a rendszer rejtett mintázatait és struktúráit, amelyek hagyományos idősorelemzéssel nem észlelhetők könnyen. Az ilyen mintázatok közé tartoznak az ismétlődő viselkedési minták, a periodicitás és a kaotikus dinamika jelenléte. Az RP-k segítenek az adatok mögötti fizikai folyamatok megértésében azáltal, hogy vizuálisan reprezentálják a rendszer viselkedésének komplexitását és szabályosságait. Ezen elgondolás alapján az idősorok visszatérési térképéből készített mátrixot használjuk majd fel a tároló súlyainak kiosztásakor.

A fent vázolt vizsgálatok mellett a következő lépésben célunk valódi napaktivitási adatsorok előrejelzése. Mivel ezek eltérő hosszúságban állnak rendelkezésünkre, és a különböző napaktivitási mutatók a Nap mágneses változékonyságára más-más módon reagálnak a mögöttes fizikának megfelelően, érdemes ezeket külön-külön és együttesen is megvizsgálni. A neurális hálózatok alapvetően képesek egyszerre többféle bemeneti adatot kezelni és azok összefüggéseit vizsgálni. Ez különösen hasznos a naptevékenység esetében, ahol számos tényező és paraméter befolyásolja a különböző idősorokban az aktivitás mintázatait. Így az adatsorok sokfélesége lehetőséget nyújt a hálózatok képességeinek alaposabb tesztelésére és finomhangolására, ezáltal javítva az előrejelzések pontosságát és megbízhatóságát.

Végezetül megfogalmazzuk azt a provokatív kérdést, amelyet a napaktivitás előrejelzésével foglalkozó néhány tanulmány is felvet. Pusztán gyakorlati szempontból szükségesek-e a fizikai modellek a napciklus előrejelzéséhez? Nyújthatnak-e nagyobb pontosságot vagy előnyt más technikákkal szemben? Kétségtelen, hogy a különböző dinamómodelleken alapuló fizikai megközelítések jelentős mértékben hozzájárultak a napaktivitás előrejelezhetőségének megértéséhez. Azonban például a prekursor módszerek – amelyek gyakran empirikus megfigyeléseken alapulnak – különösen hasznosak rövid távú előrejelzéseknél, és gyakran megbízhatóbbak, mivel közvetlenül kapcsolódnak a Nap felszínén és a közvetlen környezetében megfigyelhető aktivitáshoz, mint a Nap poláris vidékeinek mágneses tere vagy a geomágneses aktivitás. Az itt bemutatott neurális hálózatok pedig új lehetőségeket nyitnak, mivel ezek a módszerek képesek nagy mennyiségű adat feldolgozására és komplex mintázatok felismerésére. Összességében tehát a fizikai modellek mélyebb megértést nyújtanak, a prekursor technikák gyors és gyakorlati előrejelzéseket biztosítanak, míg a neurális hálózatok innovatív módszereket kínálnak a komplex adatok feldolgozására és előrejelzések készítésére. A legjobb eredmények gyakran ezen módszerek kombinációjából származnak, kihasználva mindegyik megközelítés erősségeit. Ezek alapján egyértelmű, hogy a napaktivitás előrejelzése komplex feladat, amely többféle módszert és megközelítést igényel a legnagyobb pontosság elérése érdekében.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24 kódszámú Egyetemi Kiválósági Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával végzett kutatás, amelyet az Európai Unió Horizont 2020 kutatási és innovációs programja is támogatott a 955620 számú megállapodás keretében (SWATNet).

Irodalomjegyzék

- Clette, Frédéric et al. (2015). „Revisiting the Sunspot Number”. In: Balogh, Andre et al., szerk. *The Solar Activity Cycle*. Space Sciences Series of ISSI, 53. New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2584-1_3.
- Hoyt, Douglas. V. – Schatten, Kenneth. H. (1998). „Group Sunspot Numbers: A New Solar Activity Reconstruction”. *Solar Physics*, 179, 189–219. <https://doi.org/10.1023/A:1005056326158>.
- Jaeger, Herbert (2001). „The ‘Echo State’ Approach to Analysing and Training Recurrent Neural Networks”. *GMD Report*, 148, Sankt Augustin: GMD German National Research Institute for Computer Science.
- Petrovay, Kristóf (2020). „Solar Cycle Prediction”. *Living Reviews in Solar Physics*, 17/2. <https://doi.org/10.1007/s41116-020-0022-z>.
- Reinier Maat, Jacob – Gianniotis, Nikos – Protopapas, Pavlos (2019). „Efficient Optimization of Echo State Networks for Time Series Datasets”. In: *2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 1–7. IEEE, 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.05071>.
- „Sunspot Number Series: Latest Update”. *Solar Influences Data Analysis Center. Royal Observatory of Belgium* (letöltés: 2025. ápr. 23.). <https://sidc.be/SILSO/home>.

Kis léptékű betakarítás utáni stratégiák

Post-Harvest Strategies for Small-Scale Production

Benedek Zsófia¹ – Kujáni Katalin² – Molnár Judith³

¹ PhD, tudományos főmunkatárs, ELTE Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont
benedek.zsofia@krtk.hun-ren.hu

² PhD, elnök, Kislépték Egyesület, Kecskemét
kujani.katalin@kisleptek.hu

³ PhD-hallgató, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kaposvári Campus, Kaposvár
molnar.judith@phd.uni-mate.hu

Összefoglalás

Tanulmányunkban áttekintjük, hogy az élelmiszer-veszteség elleni küzdelemben miért érdemes tágan értelmezni a különféle betakarítás utáni technológiákat. Kialakítunk egy keretrendszert, amelyben a szűken vett technológiai megoldások mellett hagyományos és együttműködésre építő, közösségi fókuszú stratégiákat mutatunk be az értéklánc egyes fázisai mentén. A tárgyalás során a rövid ellátási láncok szempontjait tartjuk szem előtt, mert a kis lépték specifikus kontextusa egyszerre könnyít és hátráltat: míg bizonyos (elsősorban mérnöki) technológiák elsősorban a nagyobb piaci szereplőkre lettek szabva, addig a közvetlen kapcsolatok alternatív megoldásokat tesznek lehetővé. Költséghatékony és fenntartható az lenne, ha ezek a hagyományos és közösségi megoldások kerülhetnének előtérbe, de ehhez hosszas tanulásra és együttműködések kialakítására van szükség.

Abstract

The multifaceted role of various post-harvest technologies in combating food loss is in the focus of this paper. We introduce a conceptual framework that extends beyond conventional technological interventions to encompass traditional methods and collaborative community-oriented approaches across all stages of the food value chain. We deliberate on the perspective of short supply chains, considering the nuanced context of small-scale production, which both facilitates and impedes the adoption of interventions. While certain technologies, predominantly engineered solutions, are primarily tailored to larger market entities, the direct relationships inherent in smaller-scale operations offer avenues for alternative solutions. We assert that prioritizing these traditional and community-based strategies presents a cost-effective and sustainable approach, albeit necessitating prolonged learning processes and collaborative development endeavours.

Kulcsszavak: élelmiszer-veszteség, rövid ellátási lánc, közvetlen értékesítés, közösség

Keywords: food loss, short food supply chain, direct selling, community

Bevezetés

Becslések szerint a globális üvegházgáz-kibocsátás mintegy 10%-áért felelős az el nem fogyasztott élelmiszer-mennyiség: a megtermelt élelmiszer mintegy harmada, évente 1,3 milliárd tonna. Az el nem fogyasztott élelmiszert két fő csoportra osztják (Chaboud–Daviron 2017). Az élelmiszer-veszteség (food loss) már azelőtt megsemmi-

sül, hogy elérné a végső fogyasztót; ez a teljes veszteség mintegy 52%-a. A fennmaradó veszteség az élelmiszer-pazarlás (food waste), amely kisebb részben a vendéglátóiparban, és főképpen a háztartásokban keletkezik, amikor az eredetileg jó minőségű élelmiszert nem fogyasztjuk el (például mert túlvásárlás miatt megromlik). Tanulmányunk az élelmiszer-veszteség csökkentésére szolgáló betakarítás utáni stratégiákra fókuszál egy speciális szegmens, a rövid ellátási láncok (REL-ek) termelői szempontjából, amelyekre újabban kezdenek figyelni az élelmiszerveszteség-csökkentés letéteményeseiként (Raftowicz–Solarz–Dradrach 2024).

A helyi élelmiszer és a gyakorlatban megvalósuló formái, a REL-ek (például: piacok, bevásárlóközösségek stb.) világszerte egyre népszerűbbek. A REL-ben a termelők és a fogyasztók közvetlenül találkoznak, vagy a közbeiktatott szereplők (piacszervezők, kereskedők) száma minimális. A REL-ek kis léptékű gazdálkodói számos nehézséggel néznek szembe. Még sokszor egy képzett, vállalkozói szemléletű gazda számára is kihívás, hogy az összes funkciót az alapanyag-beszerezéstől az értékesítésig egyetlen ember (esetleg egy család) látja el. Ez a nehézség az idős, alacsony végzettségű, ugyanakkor gazdag tapasztalati tudással rendelkező gazdák esetében még fokozottabb. Másfajta nehézség, hogy bár a „kicsik” sokan vannak, alkupozíciójuk alacsony, ezért a sok technológiai megoldás, jogszabályi környezet jellemzően nem az ő igényeiknek megfelelően alakul (Grasswitz 2019). És bár alakulóban van egy tudatosuló réteg, a fogyasztói társadalomban fellépő igényeket a hosszú ellátási láncok szereplői generálják, és a kényelmes szolgáltatásokhoz szokott fogyasztók igényei a közvetlen kapcsolatokban is jelentkeznek. Mivel a termelők piacutatási lehetőségei szűkösek, ezért célszerű lehet a konvencionális szereplők stratégiájának megfigyelése a termeléstől az értékesítésig, és a tapasztalatok átültetése a kis lépték kontextusába: a jelen tanulmány erre a feladatra vállalkozik.

A betakarítás utáni stratégiák általános vonatkozásai

Tágan értelmezve, a betakarítás utáni technológiák olyan kezelési gyakorlatok és alkalmazások, amelyek a friss termények (termékek) minőségét a betakarítástól (az állat levágásától) a fogyasztásig védik (Prusky 2011) – minél tovább biztosítva az élelmiszerbiztonságot, eladhatóságot. Annak ellenére, hogy sokan mérnöki megoldásokra és technológiai vívmányokra koncentrálnak, valójában minden szervezési megoldás, marketing és társadalmi innováció, de a kapcsolódó hagyományos gazdálkodói tudás is ide sorolható. Ez utóbbi jelentőségét nem lehet eléggé hangsúlyozni: gyakori jelenség, hogy az életmódot váltó, városból kiköltöző új típusú gazdálkodók eszköztárából éppen ez a típusú tudás hiányzik, tetemes élelmiszer-veszteséget eredményezve (Grasswitz 2019) még a gazdaságilag fejlett országokban is.

A betakarítás utáni megoldások szakirodalma jellemzően az értéklánc mentén tárgyalja az egyes lehetőségeket; mi is ezt a logikát követjük. Az élelmiszer-veszteség okai az élelmiszer-ellátási lánc mentén sokfélék. Üzemen belül veszteséget eredményez például a nem megfelelő betakarítási idő, az éghajlati viszonyok, a betakarítás és ke-

zelés során alkalmazott gyakorlatok, a termékek forgalmazásával kapcsolatos kihívások, valamint a veszteségek megelőzését célzó gazdasági ösztönzők hiánya (Delgado-Schuster-Torero 2021). A nem megfelelő tárolási feltételek és az értéklánc előzetes fázisaiban hozott döntések befolyásolhatják a termékek rövidebb eltarthatóságát, ami kezdeti veszteségeket okozhat (Gustavsson et al. 2011). A megfelelő betakarítási időpont, majd a hideg vagy száraz tárolás általában döntő fontosságú a mennyiségi és minőségi élelmiszer-veszteségek megelőzésében. A szállítás során a jó fizikai infrastruktúra és a hatékony kereskedelmi logisztika létfontosságú, de a jól integrált vidéki-városi értéklánccok is hozzájárulnak a veszteségek csökkentéséhez (Delgado-Schuster-Torero 2021).

Kis léptékben is alkalmazható betakarítás utáni stratégiák

A továbbiakban egy elméleti keretben, az értéklánc egyes fázisai mentén vesszük végig, hogy milyen, a REL szempontjából releváns megoldásklaszterek léteznek (*1. táblázat*). A megoldásokat három szempont szerint csoportosítjuk: megkülönböztetünk olyan hagyományos technológiákat, amelyek a régmúltban is működőképesek voltak, a második csoportba a modern, technológiai alapú (vagyis mérnöki) megoldások kerülnek, illetve létrehozunk egy harmadik csoportot az olyan megoldások számára, amelyek lelkét közösségi alapú (gyakran alulról szerveződő) innovációk jelentik.

Bár az *1. táblázat* nem részletezi, a „Feldolgozás” első fázisa a termények (termékek) osztályozása kellene hogy legyen, részben azért, nehogy a nem megfelelő minőségű (például kártevők nyomait hordozó) termék gyorsítsa az ép részek pusztulási folyamatait. A szűrőn túljutott termékek tovább osztályozandók esztétikai megfontolásokból, ugyanis ez fogja eldönteni, hogy az adott termék a fogyasztó kosarában vagy a szemétben végzi-e. Több áruházlánc kísérletezett az esztétikai hibás, ugyanakkor ép termények kedvező árú értékesítésével (ilyen volt például egy brit kereskedelmi lánc „Perfectly imperfect” kampánya), és a fogyasztók körében nagy sikernek örvendtek ezek az akciók – a logika minden további nélkül átültethető kisebb léptékre is. Dániában a Bo Welfare szociális program keretében 20 dán koronáért (ez kb. 1050 Ft) egy szövettáskát vásárol meg a fogyasztó, amelyet annyi lejáratközeli zöldséggel és gyümölccsel tölt meg, amennyivel csak tud. A Bo Welfare pop-up bolt hetente kétszer gyűjti össze Horsens városában a másodosztályú vagy lejáratához közeli termékeket, és értékesíti azokat az alacsonyabb jövedelmű rétegeknek. (Dánia élen jár az élelmiszer-pazarlás elleni küzdelemben, például a Buddha Bowl a szupermarketek által ingyen felajánlott másodosztályú zöldségekből készít krémleveseket.)

A következő lépés (a zöldségek és gyümölcsök esetében) a termény tisztítása (lenne). Bár a fogyasztók igénylik az ilyen kényelmi megoldásokat, a tapasztalat mégis az, hogy gyakran ez a lépés elmarad, annak ellenére is, hogy a befektetett idő és költség sokszorosan megtérülhetnének. A fogyasztók kényelmi igényeinek kiszolgálására sokféle további lehetőség is fennáll, amelyet viszonylag kevés olyan kistermelő használ ki, aki alaptermékek értékesítésére specializálódott. Ilyen például az (akár eszté-

tikai hibás, de beltartalmi szempontból tökéletes) zöldségek konyhakész előkészítése (például felkockázása, felszeletelése), zöldségkeverékek, levescsomagok összeállítása, a megmaradó nyesedékekből aszalással és őrléssel fűszerkeverékek létrehozása stb. Ausztriában a kistermelők számára elérhetőek a közösségi hékoptató, daraboló és csomagoló üzemek, ami komoly költségektől kíméli meg a gazdákat a termelői csoportok közös beruházásain keresztül.

1. táblázat. Kis léptékben (is) alkalmazható betakarítás utáni megoldások az értéklánc különböző fázisaiban

Az értéklánc fázisa	Megoldások		
	hagyományos	technológiai alapú	közösségi alapú
Feldolgozás	Fermentálás, préselés, sajtolás, aszalás, őrlés stb.	Fagyasztva szárítás (liofilizálás), magasnyomású befőzés, szferifikáció	Mobil feldolgozópontok használata, közös használatú (szövetkezeti) sajtolóüzem stb.
Csomagolás	Hagyományos csomagolóanyagok (például papír, üveg) használata	Vákuumcsomagolás, alternatív, lebomló csomagolóanyagok használata	Közösségi üvegviszaváltó rendszer (Ma Bouteille s'appelle Reviens) ¹
Tárolás	Pincében, veremben, zsákban, homokban, szalmában stb.	Precíziós tárolás (hűtés, páratartalom-szabályozás), mobil hűtőkocsi	Közösségi hűtőház, közösségi magbank
Kártevők elleni védekezés (tárolás kapcsán)	Rezisztens fajták kultiválása, kártevők kizárása (megelőzés), emeleti tárolás (többszintes multifunkcionális terek kialakítása)	Ózongenerátoros fertőtlenítés, autoklávus hőkezelés	Közösségi vagy mobil laboratórium, a hagyományokra épülő többszintes, innovatív anyagokból készülő, multifunkcionális terek kialakítása
Szállítás	Saját szállítóeszköz használata a piacra szállásban	Útvonal-optimalizálással támogatott házhozszállítás	Közösségi szállítás (La Charette ¹) The Last Kilometer ¹ – a város széleire telepített logisztikai pontokról kerékpáros vagy közösségi szállítás
Értékesítés	Piac, szedd magad, gazdaudvari értékesítés stb.	Értékesítő automata, webáruház, virtuális piactér	Bevásárlóközösség, közösségi mezőgazdálkodás

¹ Megjegyzés: a jó gyakorlat a tanulmány további részében bemutatásra kerül

Forrás: saját szerkesztés

Egyre inkább hozzáférhetőek az alternatív csomagolóanyagok, ezek azonban még nagyon drágák. A REL-ekben sokszor szükségtelen a csomagolás, ami a teljes életciklus-elemzések tanúsága szerint egy termék teljes üvegházgáz-kibocsátásának akár 5%-át is elérheti (Weber–Matthews 2008)! Ráadásul a REL-ek fogyasztói számára fontos szempont a csomagolásmenetség, ezért jó stratégia lehet ennek hangsúlyozása, illetve ha mégis szükséges a csomagolás, kis léptékben jó és relatíve könnyen megvalósítható megoldás lehet a betétdíjas, visszaváltható, hagyományos csomagolóanyagok (üveg) alkalmazása azok viszonylag magas ára ellenére is. Létezik jó gyakorlat nagyobb léptékű, közösségi, betétdíjas üvegviszaváltási rendszer működtetésére is, ilyen például a francia Ma bouteille s'appelle Reviens névre hallgató kezdeményezés, melynek működtetését egy szociális szövetkezet végzi (tevékenysége tehát duplán fenntartható). Az üres üvegeket a termelők és a fogyasztók is leadhatják az átadópontokon, a szövetkezet pedig megszervezi a begyűjtést, tisztítást és újrafelhasználást.

A tárolás és a kapcsolódó kártevőmenedzsment során pusztán odafigyeléssel, megfelelő szervezéssel már jelentősen visszaszorítható az élelmiszer-veszteség (Prusky 2011). A sikeres küzdelem már a betakarítás előtt kezdődik rezisztens tájfajták kultiválásával (a tájfajták megőrzésében nagy szerepet játszhatnak a közösségi magbancok), a megfelelő földhasználat révén optimális termeléssel. Emellett olyan egyszerű eszközökkel is biztosítható a hosszabb polcidő, mint például a hajnali (leghűvösebb napszakban történő) betakarítás vagy a betakarítás során árnyékolók használata. A REL termelői és fogyasztói közti kis távolság lehetővé teszi, hogy a terményeket a tökéletes érettség állapotában szüreteljék, jelentős tárolási kapacitásokat, optimalizációs berendezéseket spórolva meg ezzel. A szezonális és a következményes környezetbarát jelleg hangsúlyozása olyan marketingeszköz, amely kiaknázásában jelentős potenciál lehet még.

Készletezéskor is érdemes lehet követni a nagyobb szereplők megoldásait. Mivel a termelői termékek többsége jól meghatározható lejáratú idővel rendelkezik, ezért legtöbbször érdemes a „FIFO”- (first-in-first-out) elv követése, mikor az először raktározott termék értékesítésére kerül sor legelőször. A FIFO rendszerű tárolás azonban helyigényes, különösen, ha statikus megoldások állnak rendelkezésre – az automatikát odafigyeléssel és nagyobb tárolóhellyel lehet pótolni. A nagy helyigény kissé csökkenthető például egységes csomagolóanyag használatával – ezek termékbemutatáskor (például piacon) is jól mutatnak, több fogyasztó figyelmét keltve fel. Magyarországon 2024-ben tesztként elérhető a Felírom.hu szoftver, melyet kifejezetten kistermelők fejlesztettek kistermelőknek a raktárkészlet nyomon követhetősége és az adminisztrációs terhek csökkentése érdekében.

A szállításhoz viszonylag kedvező áron elérhetőek különféle útvonal-optimalizációs szoftverek és alkalmazások, amelyek közösségi szállítási megoldások kialakulását is támogatják. A francia La Charette közösségi szállítmányozási rendszerben a termelők szállítmányozó társakat találhatnak, azaz egy közös úti célra tartó jármű több termelő termékét is elszállítja. A platform megjeleníti a célállomást, az indulás napját és óráját, és rögzíti a szállítási körülményeket (például hogy a jármű hűthető-e).

Fizetni nemcsak pénzzel lehet, hanem egy másik szállítványozással is. A „The Last Kilometer” koncepciója arra a problémára igyekszik választ találni, hogy sok esetben az utoljára megtett kilométerek a legkörnyezetszennyezőbbek, mivel azok városban történnek, ahol magasabb a járművek károsanyag-kibocsátása a dugók, lámpák miatt, avagy a fogyasztók mozognak az élelmiszer beszerzése miatt az értékesítés helyszínére és vissza. Ezért a kezdeményezés célja, hogy együttműködés alapon kevesebb jármű mozogjon, összehangolt logisztikával a termékek városi szétosztása érdekében.

Az élelmiszer-veszteség az értékesítés fázisában is csökkenthető. Gyakran elmaradnak az olyan alapvető tevékenységek, mint a termény árnyékolása, fedése (vagyis a madárürülék jelentette fertőződésveszély kivédése, például egy fa alatt). Élelmiszer-higiéniai szempontból rossz gyakorlat, mégis előfordul a terményt tartalmazó tároló, kosár közvetlenül a földre helyezése. A termékek megfelelő kihelyezésével (a stand „felöltöztetésével”), stílusos tárolók alkalmazásával sokkal könnyebben fel lehetne keltetni a fogyasztók érdeklődését, ami több vásárlást, és emiatt kisebb mértékű élelmiszer-veszteséget eredményezne. Napjainkban modern értékesítési csatornák sokasága elérhető már. Ezek közül néhányat feltüntettünk az 1. táblázatban, de részletes bemutatásukra itt nem vállalkozunk, ezt megteszi például Kovács Evelin (2021). Az értékesítés kapcsán érinteni kell a tanúsítványok, védjegyek kérdéskörét is. Bár az elérhető ár magasabb lesz, ezekre a többnyire költséges, harmadik fél biztosította mechanizmusokra jellemzően a hosszú ellátási láncokban van szükség; a REL-ekben a fogyasztók legtöbbször bizalommal viseltetnek a termelők iránt (Thilmany–Bond–Bond 2008). A kutatások (például Cuéllar–Padilla–Ganuza–Fernandez 2018) szerint a legnagyobb bevételnövekedést akkor lehet elérni, ha a gazdák önként alkalmazzák a tanúsítási eljárásban megkövetelt tervezési és irányítási folyamatokat, de nem vetik alá magukat auditálásnak. Ennek oka az lehet, hogy a szükséges folyamatok ráirányítják a gazdák figyelmét a környezetbarátabb lehetőségekre, amelyek racionalizáláshoz vezethetnek, és a módszerek alkalmazását aztán kommunikálni lehet a fogyasztók felé. Másfajta közösségi megoldást nyújtanak a REL-ben alkalmazható részvételi garanciarendszerek, amelyek helyi szinten rögzített minőségbiztosítási rendszerek. Jól működő hazai példa a Nyíregyházi Kosár Közösség által létrehozott Termékminősítő Rendszer, amely öt dimenzió mentén értékeli a termékeket (például a helyi gazdaságot erősítő hatás alapján, a termék előállításának helyszíne szerint, az alapanyag eredete szerint stb.), ezáltal támogatva a fogyasztói döntéseket.

Összefoglalás

Tanulmányunkban az értéklánc fázisai mentén tekintettük át, hogy milyen stratégiák működhetnek a kis lépték kontextusában a betakarítást (vagy az állat levágását) követően. Tettük ezt azért, hogy segítséget nyújtsunk a kis léptékű termelők és a vidékfejlesztési szakemberek, civil szervezetek számára az élelmiszer-veszteség minimalizálásáért folytatott küzdelemben. Azért van szükség a specifikusan kis léptékű megközelítésre, mert a technológiai megoldások, jogszabályi környezet jellemzően a

nagyobb üzemek igényeinek megfelelően alakul. Ehhez társul az a nehézség, hogy a fogyasztók hosszú ellátási láncok által generált igényei a rövid ellátási láncokban is felmerülnek, miközben a kis léptékű termelők többnyire erősen kapacitáshiányosak például a fogyasztók szisztematikus megismerésében. Mindezek miatt a szerintünk követendő stratégia a nagyobb piaci szereplők megfigyelése, az ő megoldásaik átültetése kis léptékre és a fogyasztói igények maximális figyelembevétele.

Keretrendszerünk három fő megoldásklasztert mutat be. Az első csoportba a hagyományos megoldások tartoznak, a második csoportot a szűken vett technológiai megoldások jelentik, míg a harmadik csoportba olyan stratégiák kerültek, amelyek a termelők (és fogyasztók) közti együttműködésre, közösségi mechanizmusokra építenek. Számos költséghatékony, kis léptékben alkalmazható hagyományos, illetve közösséget középpontba megoldás létezik, amellyel sikeresen csökkenthető lenne az élelmiszer-vesztés. A célravezető (fenntartható) az lenne, hogy az individualista, technokrata megoldásokra csak azután kerülne sor, ha a többi megoldási lehetőség már kimerült, de ehhez hosszas tanulásra (tapasztalatmegosztásra) és együttműködések kialakítására van szükség.

Bár a hazai gazdák körében a történelmi múlt következtében nagyon alacsony az együttműködési hajlandóság, számos közösségi szolgáltatás (például feldolgozópontok közös használata, bérsajtolás szövetkezeti sajtolóüzemben stb.) jól működik a gyakorlatban. További fontos szempont, hogy a kis léptékben működnek a személyes kapcsolatok – nemcsak a termelő–fogyasztó, de termelő–termelő vonatkozásban is. A kapcsolódást erősítik az egyelőre még ritka, de növekvő számú kezdeményezések, mint amilyenek a (sokszor civil szervezetek által koordinált) tanyalátogatással egybekötött tapasztalatmegosztásra irányuló akciók, termelői együttműködések stb. Ilyen például a Tudatos Vásárlók Egyesülete által koordinált közösségi mezőgazdálkodás képzések vagy a Magyarországi Agroökológiai Hálózat.

Támogatási források

A tanulmány elkészülését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által finanszírozott FK-143247 számú projekt (Benedek Zsófia), valamint az 101059954 azonosítójú FOSTER Horizon Europe projekt (Kujáni Katalin) tette lehetővé.

Irodalomjegyzék

- Chaboud, Géraldine – Daviron, Benoit (2017). „Food Losses and Waste: Navigating the Inconsistencies”. *Global Food Security*, 12, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.11.004>.
- Cuellar-Padilla, Mamen – Ganuza-Fernández, Ernesto (2018). „We Don’t Want to Be Officially Certified! Reasons and Implications of the Participatory Guarantee Systems”. *Sustainability*, 10/4, 1142. <https://doi.org/10.3390/su10041142>.
- Delgado, Luciana – Schuster, Monica – Torero, Maximo (2021). „Quantity and Quality Food Losses Across the Value Chain: A Comparative Analysis”. *Food Policy*, 98, 101958. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101958>.

- Grasswitz, Tessa R. (2019). „Integrated Pest Management (IPM) for Small-Scale Farms in Developed Economies: Challenges and Opportunities”. *Insects*, 10/6, 179. <https://doi.org/10.3390/insects10060179>.
- Gustavsson, Jenny et al. (2011). *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention*. Rome: Food and Agriculture Organisation of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf>.
- Kovács Evelin (2021). „A rövid ellátási láncok szerepe és lehetőségei – különös tekintettel a Hajdú-Bihar megyei szerveződésekre”. *Régiókutatás Szemle*, 6/2, 45–58. <https://doi.org/10.30716/RSZ/21/2/5>.
- Prusky, Dov (2011). „Reduction of the Incidence of Postharvest Quality Losses, and Future Prospects”. *Food Security*, 3/4, 436–474. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0147-y>.
- Raftowicz, Magdalena – Solarz, Krzysztof – Dradrach, Agnieszka (2024). „Short Food Supply Chains as a Practical Implication of Sustainable Development Ideas”. *Sustainability*, 16, 2910. <https://doi.org/10.3390/su16072910>.
- Thilmany, Dawn – Bond, Craig A. – Bond, Jennifer (2008). „Going Local: Exploring Consumer Behavior and Motivations for Direct Food Purchases”. *American Journal of Agricultural Economics*, 90/5, 1303–1309. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2008.01221.x>.
- Weber, Christopher – Matthews, Scott (2008). „Food-Miles and the Relative Climate Impacts of Food Choices in the United States”. *Environmental Science and Technology*, 42/10, 3508–3513. <https://doi.org/10.1021/es702969f>.

TUDÓSPORTRÉ

Aujeszky Aladár, a magyar állatorvosi mikrobiológia
első nemzetközileg elismert mestere
és az emlős háziállatok új vírusos betegségének felismerője

Aladár Aujeszky, the First Internationally Recognized Master
of Hungarian Veterinary Microbiology
and Discoverer of a New Viral Disease of Domestic Mammals

Nagy Béla

az MTA rendes tagja, professor emeritus, HUN-REN Állatorvostudományi Kutatóintézet, Budapest
drbelanagy@gmail.com



1. ábra. Aujeszky Aladár fiatalkori portréja

Forrás: Állatorvostudományi Egyetem
Hutýra Ferenc Könyvtár, Levéltár és Múzeum

Az Állatorvosi Főiskola Bakteriológiai Intézetének vezetője, a Szent István Akadémia, az Országos Állategészségügyi Tanács tagja, a Magyar Természettudományi Társulat választmányi tagja és Mikrobiológiai Szakosztályának alelnöke, valamint az Országos Közegészségügyi Egyesület választmányi tagja, prof. Aujeszky Aladár orvosdoktor (1892) és állatorvosi főiskolai tanár (1903) a magyar állatorvosi mikrobiológia első

nemzetközileg elismert mestere címet méltán érdemelte ki (1. ábra). Nevét az általa 1902-ben fölfedezett és később róla elnevezett állatbetegség és vírusának felismerése, részletes ismertetése, a veszetheységtől való máig érvényes elkülönítése tette világszerte ismertté. Mint az alábbi rövid méltatásból kiderül, ezen túl az orvosi és állatorvosi szempontból fontos mikrobákra, valamint a veszetheység elleni oltóanyagok és oltási módszerek fejlesztésére irányuló kutatásai is igen jelentősek.

Aujeszky Aladár (1869–1933) komoly tanítói/tanári hagyományokkal rendelkező, morvaországi eredetű család tagjaként a pesti Piarista Főgimnáziumban érettségizett, majd a Pesti Tudományegyetem Orvosi Karán 1892-ben szerzett orvosdoktori diplomát. Gyakorló orvosi évei után 1895-től a Hőgyes Endre által vezetett Pasteur Intézetben, majd az egyetemnek ugyancsak Hőgyes vezetése alatt működő Általános Kórtani Intézetében dolgozott, ahol mesterének példája alapján a veszetheység elleni küzdelem mellett kötelezte el magát. A feladat iránti vonzódása miatt 1901-ben csatlakozott Preisz Hugóhoz, az akkor már jó nevű orvos-mikrobiológushoz, aki az Állatorvosi Főiskolához csatolt és a Földművelésügyi Minisztérium felügyelete alatt álló Magyar Királyi Állami Bakteriológiai Intézetet vezette, s ahol az oktatás és kutatás mellett az állatok baktérium okozta megbetegedéseire és a veszetheységre irányuló diagnosztikai vizsgálatokat is végeztek.

Első és legjelentősebb felfedezését új, „segédtanári” munkakörének második évében épp a veszetheységre irányuló tudományos igényű diagnosztikai munkájának köszönhetette. Nevezetesen, 1902-ben egy, a veszetheység gyanújával vizsgálatra küldött szarvasmarha, majd egy hasonló esetet képviselő eb agyveléből elvégzett mikrobiológiai és Pasteur és Roux módszerével ismételt kísérleti nyúl fertőzések és -passzázatok alapján, a baktériumos és veszetheységi oktán kizárva egy, a veszetheységnél jóval rövidebb lappangási idejű és lefolyású, attól klinikailag is különböző, az irodalomból addig nem ismert fertőző idegrendszeri bántalmat állapított meg. Ezek alapján egy német és két magyar nyelvű közleményben még az évben közölte: „e betegségnek előidéző oka is a fertőző vírusok ama csoportjába tartozik amelyek mikroorganizmusát eddig sem kitenyészteni sem meglátni nem sikerült...” (Aujeszky 1902a; 1902b). Felfedezésének és a vírus oktanának megerősítésével és számos állatfajra vonatkozó kiegészítésével elsősorban tanítványa (Schmiedhoffer 1910), de tudós tanártársai (Marek József és Rátz István) is szolgáltak. A betegség sertések közötti előfordulásáról először Rátz számolt be (Rátz 1913). A későbbiekben a „fertőző nyúlvelőbénulás” és számos más szinonima mellett és helyett egyre inkább az „Aujeszky-féle betegség” néven került a kézikönyvekbe és a szakmai köztudatba (Hutýra–Marek 1922). Annak felismerése, hogy legnagyobb gazdasági jelentősége a sertések Aujeszky-féle betegségének van, mely különösen az újszülött és fiatal malacok nagyarányú elhullásával hívja fel magára a figyelmet, többek között magyar állatorvosok érdeme (Köves–Hirt 1934). Az Aujeszky-betegség előfordulását világszerte igazolták, és ellene vakcinákat is előállítottak. Az első és legsikeresebb, a sertésállományok védelmét, majd mentesítését szolgáló, attenuált (gyengített) élővírus-vakcinát Aujeszky egyik késői utóda, Bartha Adorján állította elő 1961-ben,

mely vakcinatörzsnek a modern molekuláris virológiai és neurobiológiai kutatások eszköztárában ma is fontos szerepe van.

Aujeszky az új betegség leírását követően azzal már kevesebbet foglalkozott, mivel fő feladata az országszerte előforduló és emberi sérüléssel járó, veszettséggyanús állatmegbetegedések okának kivizsgálása és veszettség elleni vakcina fejlesztése, előállítás volt, mely a vizsgálókra nézve is igen veszélyes, nagy körütekintést, pontosságot és fegyelmet kívánó munka. További feladata a bakteriológiai diagnosztika és kutatás (elsősorban: lépfene, gümőkór és takonykór baktériumai), valamint oltóanyagok és védősavók termelése és országos szintű ellenőrzése volt, melyek az oktatás és a fent említett szakmai, társadalmi feladatok, valamint a tudományos és ismeretterjesztő munkái mellett idejét és energiáját jelentős mértékben felemésztették. Ezen túl, 1907-től Preisz Hugó budapesti tudományegyetemre távozásával a Bakteriológiai Intézet vezetését is át kellett vennie, melyhez 1910-től az újonnan létesített Állami Oltóanyag-termelő Intézet vezetésének feladata társult.

Aujeszky tanár úr a mikrobiológia hazai szakirodalmát két gazdagon illusztrált, magas szakmai színvonalú szakkönyvvel is gyarapította. A *baktériumok természetrajza* tudományos és ismeretterjesztő jellegű, sokáig nagyon népszerű kézikönyv volt (Aujeszky 1912). Az *Általános bakteriológia* az akkori tudományos világ legfrissebb mikrobiológiai módszertani, klinikai és elméleti ismereteinek tankönyve, Aujeszky ide vonatkozó saját tapasztalatainak tudományos igényű gazdag tárháza (Aujeszky 1924).

Széles körű és igen eredményes munkálkodásának legfőbb céljaként a veszettség elleni hatékony és általánosan bevezethető eboltások kidolgozását tartotta. Ennek érdekében munkatársaival (főként Csontos Józseffel, Kertay Nándorral) részletesen tanulmányozta a különböző eredetű fix vírusok változékonyságát és a hatékony vakcina fejlesztésének lehetőségeit. Végül a legmegbízhatóbb, Kondo-féle (karbolsavval gyengített fix vírus) vakcinát ajánlotta az ebek évi egyszeri immunizálására. Eredményeik, megfigyeléseik egyes részleteiről 1912–1933 között több mint húsz magyar és német nyelvű közleményben számoltak be (például Aujeszky 1933). Aujeszky és munkatársai legnagyobb eredménye, hogy a világon elsőként lehetővé vált az ebek évi egyszeri tömeges oltásának a bevezetése. Az ennek kedvező tapasztalatai alapján elrendelt kötelező eboltásnak és ebrendészeti intézkedéseknek köszönhetően 1940-re a humán veszettséget a kontinensen elsőként sikerült felszámolni. Bár életében számos hazai és külföldi elismerésben részesült, életcélját, az emberek veszetségtől való tartós védelmét megvalósító eredménynek az 1933. március 9-i korai és váratlan elhunytja miatt már nem örülhetett.

A köztisztletnek és szeretetnek örvendő puritán jellemű, nemes gondolkodású tudós tanár emlékezetét az utókor számos formában: az Állatorvostudományi Egyetem parkjában felállított szobor (1969), az MTA Állatorvostudományi Kutatóintézetben emléktábla és Aujeszky-emlékérem (1993), a Magyar Zoonózis Társaság Hőgyes–Aujeszky-emlékérmé formájában, valamint a munkásságát méltató alábbi publikációkban (Zimmermann 1933; Manninger 1969; Karasszon 1969; Fehér 2007) is őrzi.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton is köszönöm az Állatorvostudományi Egyetem Hutýra Ferenc Könyvtár igazgatójának, Winkler Beának és Bikádi Katalin könyvtárosnak az anyaggyűjtéshez nyújtott segítségét.

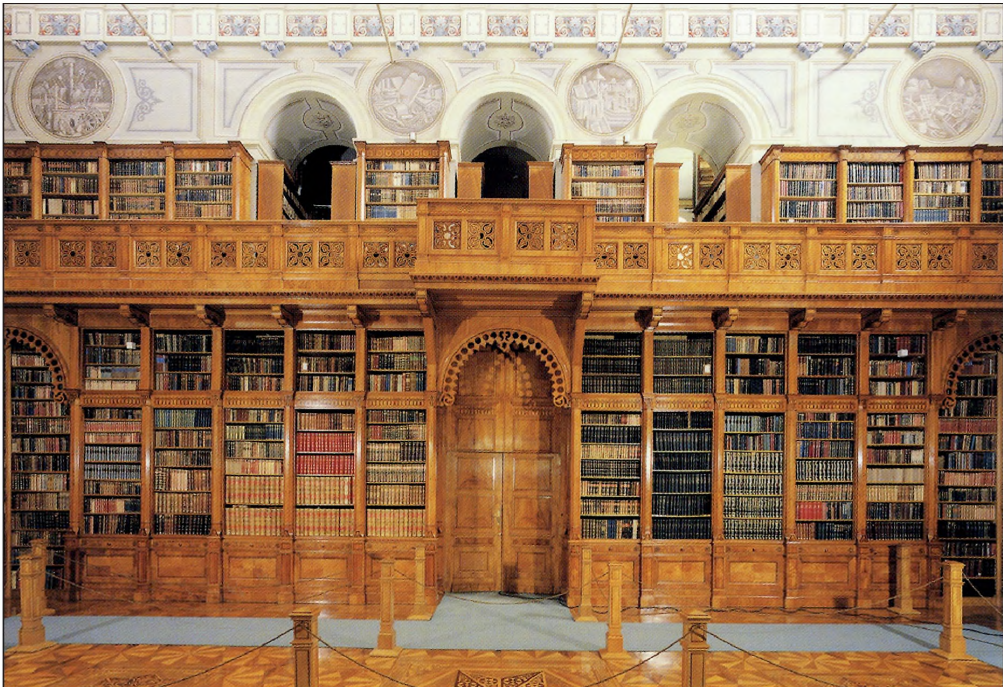
Irodalomjegyzék

- Aujeszky Aladár (1902a). „Über eine neue Infektionskrankheit bei Haustieren”. *Centralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten, I. Abteilung*. Originale. 31/1, 353–357.
- Aujeszky Aladár (1902b). „A veszettséggel összetéveszthető, oktanilag ismeretlen fertőző betegségről”. *Veterinarius*, 25/12, 387–396.
- Aujeszky Aladár (1912). *A baktériumok természetrajza*. Budapest: Magyar Természettudományi Társulat.
- Aujeszky Aladár (1924). *Általános bakteriológia*. Budapest: Magyar Természettudományi Társulat.
- Aujeszky Aladár (1933). „Háziállataink veszettség elleni védőojtása 1931-ben”. *Állatorvosi Lapok*, 56/3, 31–33.
- Bartha Adorján (1961). „Kísérletek az Aujeszky-vírus virulenciájának szelídítésére”. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 16/2, 42–45.
- Fehér György (2007). *Biographia. Elhunyt tanáraink és előadók életrajza*. Budapest: Szent István Egyetem Állatorvostudományi Kar, 19–22.
- Hutýra, Franz v. – Marek, Josef (1922). *Spezielle Pathologie und Therapie der Haustiere*. Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Karasszon Dénes (1969). „A mikrobiológia magyar mesterei. Emlékezés Aujeszky Aladár születésének 100. évfordulóján”. *Orvostörténeti Közlemények*, 48–49, 129–139.
- Köves János – Hirt Géza (1934). „Az Aujeszky-féle betegség mint kiterjedt járvány sertések között”. *Állatorvosi Lapok*, 57/6, 71–80; 57/7, 91–96.
- Manninger Rezső (1969). „Aujeszky Aladár emlékezete”. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 24/9, 453–454.
- Rátz István (1913). „A fertőző nyúltvelőbénulás iránt való fogékonyságról”. *Állatorvosi Lapok*, 36/40, 475–477.
- Schmiedhoffer Gyula (1910). „Adatok az Aujeszky-féle betegség kórtanához”. *Állatorvos-doktori értekezés. Közlemények az Összehasonlító Élet- és Kórtan Köréből*, 9/1, 14–43.
- Zimmermann Ágoston (1933). „Dr. Aujeszky Aladár”. *Állatorvosi Lapok*, 56/6, 69–72.

Szabados László képeslapgyűjteményéből



A budapesti Eötvös József Collegium könyvtárterme. A kollégiumot Eötvös Loránd (1848–1919), az MTA egykori elnöke alapította, és nevezte el édesapjáról, aki az MTA igazgatósági tagja (1855), majd 1866-tól 1871-ig elnöke volt. A képeslapot 1932-ben adták postára
Forrás: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/16646/>



A Zirci Ciszterci Apátság Reguly Antalról elnevezett műemlékkönyvtárának nagyterme (Hapák József felvétele).
A Zircen született Reguly Antal (1819–1858) néprajzkutató, nyelvész, utazó 1843-tól az MTA levelező tagja volt
Forrás: Szabados László képeslapgyűjteményéből, <https://real-i.mtak.hu/16662/>

KÖNYVSZEMLE

Judit Abdai – Ádám Miklósi szerkesztők
*An Introduction to Ethorobotics:
Robotics and the Study of Animal Behaviour*
(Bevezetés az etorobotikába: robotika és az állatok
viselkedésének tanulmányozása)

Miklósi Ádám etológus, az etorobotika szó megalkotója, és ily módon e tudományág megalapítója, a tanítványa, Abdai Judit közreműködésével úttörő (és igen vaskos, 516 oldalas) művet írt a *Bevezetés az etorobotikába (An Introduction to Ethorobotics)* címmel. Az etorobotika új, interdiszciplináris terület az állatviselkedés-kutatás és a robotika határterületén. Egyrészt robotokat alkalmaz az állatok viselkedésének kutatásához, másrészt robotokat fejleszt etológiai megfigyelések alapján. A szerzők, akik évtizedek óta kutatják, hogy a kutya–ember kapcsolat kialakításában milyen szerepe van a kutyák szociális viselkedésének és elméleti képességeiknek, merész javaslatokkal álltak elő: az állati viselkedés nemcsak a természet megértésében, hanem a társas robotok fejlesztésében is irányadó lehet.

A könyv alapfelvetése, hogy a társas fajok, de különösen a kutya viselkedése kiváló modellként szolgálhat a szociális robotok tervezéséhez és fejlesztéséhez. Ahelyett, hogy a robotok emberi utánzatok legyenek („humanoidok”), ami gyakran túlzottan komplex és kudarcra ítélt vállalkozás, a szerzők azt javasolják, hogy a biológiai evolúció során kialakult, egyszerűbb szociális rendszerekből merítsünk ihletet. Ebben kiemelt szerep jut a kutyának, hiszen rendkívül sikeres az emberközpontú környezetben. E szemlélet lehetővé teszi, hogy a robotokat „mesterséges fajokként” kezeljük, amelyek saját „ökológiai fülkéket” (niche) töltenek be, és ezáltal eltávolodjunk az embercentrikus tervezéstől.

A könyv legnagyobb erényei a közérthetőség és az interdiszciplináris megközelítés. Miközben világosan bemutatja az etológia alapfogalmait, nem vész el a technikai részletekben, és így a mérnökök mellett a pszichológusok, informatikusok és viselkedéstudósok számára is követhető. A *Bevezetés az etorobotikába* olyan etológiai kulcsfogalmakat tárgyal, mint a kulcsinger, szociális tanulás, kommunikáció és viselkedési rugalmasság, majd ezeket összekapcsolja a robotikai kihívásokkal és lehetőségekkel.

Kiemelendők a könyv gyakorlati példái, amelyek a szerzők saját kutatásaiból származnak. Ezekben kutyaszerű robotokat fejlesztettek az emberi interakció vizsgálatához, illetve olyan rendszereket, amelyekkel az állat–robot kommunikáció tanulmányozható. Ezek a vizsgálatok választ keresnek arra, hogy az etológiai elveken működő robotok képesek-e a természeteshez hasonló viselkedést kiváltani emberekből vagy

állatokból. Bár nem minden eredmény egyértelmű, a módszertani alaposság és a tudományos nyitottság végig érzékelhető.

A könyv egyik szembetűnő hiányossága, hogy az etikai kérdések tárgyalása felületes. Bár a szerzők utalnak arra, hogy a társas robotok emocionális hatása erkölcsi agályokat vethet fel, például érzelmi függőség kialakulásához vagy manipulálhatósághoz vezethet, ezeket nem elemzik részletesen. A könyv jelentőségét növelhette volna, ha a mesterséges intelligenciával és a felelős innovációval kapcsolatos diskurzust is mélyebben is hozzájárul.

A technikai tartalom szintén viszonylag bevezető jellegű. A robotikai szakemberek számára a könyv inkább inspirációt, semmint konkrét útmutatást nyújt. A hardveres, szoftveres megvalósítások vagy a szenzoros integráció részletezése nem szerepel hangsúlyosan. Ugyanakkor a szerzők célja nem is mérnöki kézikönyv írása, hanem egy új szemléletmód kialakítása, amely hosszú távon ösztönözheti az együttműködést a tudományágak között.

További hiányosság, hogy noha a kognitív modellezés, az érzelmek kifejezése, a motiváció, a viselkedési variabilitás témái is megjelennek, ezek kevésbé részletezettek, és nem kerülnek be a technikai modellalkotásba. Pedig az etorobotika fejlődéséhez ezeknek a számítógépes keretbe foglalása is szükséges.

Mindezek ellenére a könyv koherens víziót nyújt. Azzal, hogy a robotokat nem emberi másolatként, hanem saját, „fajspecifikus” viselkedésük alapján társas ágensekként kezeli, új paradigmát vázol fel. Az „öntörvényű fajként” testet öltő robotok ötlete, amelyek meghatározott társas és környezeti szerepeket töltenek be, felszabadíthatja a robotfejlesztést az emberi utánzás kényszere alól.

A könyv egyik legnagyobb érdeme, hogy tudományos visszafogottsággal közelít a témához. Nem tesz bombasztikus kijelentéseket a mesterséges tudatról vagy a robotbarátokról. Ehelyett a mérhető és megfigyelhető interakciók jellemzőkre fókuszál: figyelem, emocionális válaszok, tanulás, együttműködés. Mivel a társas robotika egyre fontosabb az idősgondozásban, oktatásban és egészségügyben, Abdai és Miklósi könyve a gyakorlati alkalmazások szempontjából is komoly lehetőségeket hordoz. Bár a jövőben szükség lehet a könyv etikai, technikai és kognitív vonatkozásainak mélyebb kibontására, az etorobotika alapjait világosan és meggyőzően mutatja be. Elméleti alpműként és gyakorlati útmutatóként egyaránt helytáll, és mindenki számára ajánlható, aki érdeklődik a társas viselkedésű robotok jövője iránt.

★

Abdai, Judit – Miklósi, Ádám, szerk. (2024). *An Introduction to Ethorobotics: Robotics and the Study of Animal Behaviour*. London: Taylor & Francis, 516 o.

Kubinyi Enikő

egyetemi tanár

ELTE Etológiai Tanszék, Budapest

Gráf László
Dörgicsétől Karachiig
A trilógia befejező kötete. Emlékkönyv

Gráf László akadémikus önéletrajzi ihletésű könyvsorozatának harmadik, befejező kötete idén nyáron, két évvel a szerző elhunytá után jelent meg a Gingko Kiadó gondozásában. E kötet a szerzőtől már megszokott, grandiózus, ám ugyanakkor humorosan szórakoztató stílusban zárja a korábbi, *Kaland és tudomány. Egy biokémikus útkeresése a 20. század második felében* (Személyes Történelem Kiadó, Budapest) 2020-ban, valamint a *Tudomány, kaland, Amerika. Egy biokémikus útkeresése II.* (Személyes Történelem Kiadó) 2021-ben megjelent kötetei által megkezdett és folytatott ívet. A most megjelent mű méltó lezárása egy különleges életútnak – és egyben meghívás egy utolsó, emlékezetes utazásra. A *Dörgicsétől Karachiig* mindezt alcímével is jelzi: az immár trilógiává bővült könyvvegyüttes utolsó darabja emlékkönyvként definiálja magát. Az emlékezés részint a személyesen átéltek elbeszélését, részint a mások által a szerzőre irányuló történetek felelevenítését öleli fel.

Gráf László sokoldalú személyisége számára magától értetődő a munka és élet egyensúlya, illetve még inkább a kettő közötti szövevényes, mélyreható és termékeny interakció. A kötet első felében a szerző szinte krúdysan részletgazdag stílusban eleveníti fel a Balaton-felvidéki elvonulások hangulatát, azoknak a helyeknek a történeteit, ahol a pihenés és az elmélkedés kéz a kézben jártak. A tájak emlékei azonban sosem csupán természeti leírások – minden történet mögött ott húzódik egy-egy barátság, találkozás, tudományos vagy személyes élmény, amely akár a világ másik sarkából fonódik bele az elbeszélés szövetébe.

A kötet második felében már mások emlékeznek a szerzőre: barátok, kollégák, rokonok – tudósok és nem tudósok egyaránt. Bensőséges hangvétellű írásaikból egy olyan ember képe rajzolódik ki, aki egyszerre volt szenvedélyes kutató, elmélyült gondolkodó és színes egyéniség. A személyes portré kíséretében egy olyan korszak is megelevenedik, amelyben a nyugati világba való kijutás vagy a nemzetközi szakmai közegehez való csatlakozás még korántsem volt természetes. Olyan időköt idéznek fel ezek a visszaemlékezések, amikor irodalmi igényű levelezés kötötte össze a családtagokat, és amikor még maradt idő eltöprengeni azon is, vajon miként lehetne a toulouse-i és albi katedrálisok építészeti elveit a tudományszervezésre alkalmazni.

Gráf László személyével egy olyan tudós távozott közösségünkől, aki tudományos intuícioit művészi érzékenységgel ötvözve formálta gondolkodását és életét. Írásaival nemcsak egy szakmai életút lenyomatát hagyta ránk, hanem egyfajta életfilozófiát is, amely a kíváncsiságot, a szabadságot és a belső harmóniát állítja

középpontba. Memoárjai nem lezárnak, hanem megnyitnak valamit: kérdéseket, álmokat, talán új kalandokat is – az olvasóban.

✱

Gráf László (2025). *Dörgicsétől Karachiig. A trilógia befejező kötete. Emlékkönyv*. Budapest: Gingko Kiadó, 184 o.

Kovács Mihály

egyetemi tanár, az MTA doktora
Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar
Biológiai Intézet Biokémia Tanszék, Budapest

Málnási-Csizmadia András

egyetemi tanár, az MTA doktora
Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar
Biológiai Intézet Biokémia Tanszék, Budapest

Nyitray László

egyetemi tanár, az MTA doktora
Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar
Biológiai Intézet Biokémia Tanszék, Budapest

John Rasko – Carl Power
Élet-re-generálva – Történetek az őssejtgyógyászat rögös útjáról
(Flesh Made New)

John Rasko és Carl Power könyve és annak elsőrangú magyar fordítása (fordító: Rohánszky-Nagy Réka) minden túlzás nélkül a tudományos ismeretátadás területén az utóbbi évek egyik legkiemelkedőbb színvonalú és komplexitásában legtöbb embert megszólító példája. Igaz ez a laikus érdeklődőre és a szakmájában közelebbről érintett természettudományos kutatóra is. A könyv még annál is sokkal többet nyújt, mint azt, hogy megismerteti az olvasót a sejtbiológia, az őssejt, az embrionális őssejt fogalmaival, valamint a csontvelő-átültetés alapjaival. A végig akciófilm izgalmasságú olvasmány bevezeti az új lehetőségekre nyitott érdeklődőt a biológiai laboratóriumok világába, és emlékezteti a kutatót is a sokszor monoton, ismétléseken és zsákutcákon át vezető, időnként elkerülhetetlenül frusztráló, de mégis szenvedélyesen vonzó atmoszférára.

A könyv első fele beléptet a sejtbiológiai laboratóriumba, közelről bemutatja a laikusok által csodáknak hitt jelenségeket, a mikroszkóp alatt feltáruuló világot, az embriókat, a „szőrös kémcsöveket”, azaz a kísérleti állatokat. Emellett szembesülünk a külvilág elvárásaival, a biológiai jelenségek megértésére sarkalló kíváncsiság bizsergető érzésével, és a betegségek okának, mechanizmusának és gyógyításának motiváló kihívásával.

Mint több mint félszáz éven át egy társszakmában dolgozó kutató, miközben olvasom a remek stílusban megírt könyv fejezeteit, bőrömon érzem kutatói pályám ismerős emlékeit az euforikus lelkeségtől a „semmi nem sikerül” keserű, bénító hullámaiig, a remény és a csalódás lelki tengeribetegségeit. A kutatás olümposzi, világmegváltó repülésén és a tudományos (bocsánat) székrekedés oly gyakori kínjait.

A könyv második fele őszintén tárja fel a tévedésektől a csalásig, a valódi, reprodukált eredmények adta reményektől a túlpörgetett, tömeg- és médiaigényeket időlegesen kielégítő hype-okig a szinte fausztii önfeladás folyamatát. Hihetetlen kemény az az út, amelyen, lényegében, önismerettel felvértezve minden kutató átmegy. A kutató fő sajátossága a kíváncsiság. Kérdéseket, lényegi és eredeti kérdéseket feltenni, ez a felfedező kutatás lényege. Válaszokat adni, megfelelő előképzettséggel, elégséges infrastruktúrával és anyagi háttérrel (például reagens, állatkísérlet, szakértés és műszerszintű informatikai rendszer) a válaszadás voltaképpen szinte rutinfeladat. Megalapozottan, megfelelő felkészültséggel kísérleti témát kitalálni, itt kezdődik a kutatás legizgalmasabb része, a kutató az ismert és az ismeretlen határán lépeget, vagy éppenséggel kötéltañcol. A kísérletek közben folynak, eredmények születnek, azokat jó esetben sikerül is megismételni, azaz legalábbis önmagának meggyőzővé

tenni. A kutató előtt ott lebeg a megvalósulni látszó felfedezés öröme. Ekkor a kutató boldog, és gyermekként drukkol, „please-please”, jöjjön ki az az eredmény, amit elképzelt. A kutató itt gyakorta válaszút elé kerül, bár ez általában nem is tudatosul. Akarva-akaratlan a voluntarizmus csapdájába kerülhet, amikor is a realitás helyébe saját vágyait helyezi. A józan, becsületes kutató ekkor azonban megálljt parancsol magának, ami sokszor tapasztalhatóan nem is olyan nehéz, mert már jól tudja, hogy néha a természet még annál is érdekesebb, újszerűbb oldalát mutatja meg, mint amit a kutató elképzelt.

Itt következhet a kísértésekből eredő tévutak újabb, ezúttal még veszélyesebb (csábítóbb?) változata. A kutatót eléri a társadalmi igény, amelyet a nem megfelelő kommunikáció, a médiumok „érthetőnek” szánt, túlegyszerűsítő magyarázatai, a szalagcímekben megjelenő „áttörés” szó dobpergése kísér. Ráadásul a remény, például egy betegség hátterének feltárása lavinaként tovább hömpölyögve már széles körű publicitást kapott, a laikus publikum nyomása, sürgetése dolgozik, nem beszélve a túlzó bálványképzés, a médiumok szenzációjából eredő celebritási hírnév mágikus vonzásáról. És a hírt, a reményt táplálni kell, különben jön a másik véglet, a demonizáció, a villámgyors lenullázás – általában teret adva egy újabb szenzációnak. Ezt követi főleg a döntéshozók (alias finanszírozók) ignoranciája, tehát a forrás elapadása.

A legbecstelenebb végkifejlet a korruptság, azaz a legközönségesebb csalás, eredményfabrikálás és hamisítás, majd a fausztí vég. Sokszor ez a szomorú út is a legszebb ideákkal indul, de a szirénhangok, kezdve a vágyvezérelt beállítódástól, a hiúságon át egészen a torz ösztönzőkig, a közönséges lefizetésekig rombolja az emberiség egyik legcsodálatosabb alkotásának, a tudománynak a hitelét és értéktelremtő képességét.

Rasko és Power lenyűgözően érdekfeszítő könyve a reveláció erejével hat az olvasóra. A nagyon súlyos, gyakran halálos betegségek, mint például a leukémia és egyéb rosszindulatú kórok okainak feltárása, enyhítése és gyógyítása ezerévek óta az emberiség egyik legnemesebb célja. A tudomány igazi hősei e könyvben a regeneratív sejtbiológia és a csontvelő-átültetés alapjait kidolgozó úttörők, Don Thomas, Georges Mathé, akik hihetetlenül göröngyös, nehéz úton jutottak alapvető, igaz eredményekhez, és ráadásul azok elfogadtatásához. E helyütt akár Semmelweis Ignác Fülöpről is lehetne szólni.

Tökéletesen érthető a gyorsuló módon fejlődő tudás felhasználásának igénye és elvárása. Egyáltalán nem meglepő az a nyomás, amely csupán egyedi, anekdotikus történetek, rosszul kommunikált felfedezések, önámító felhajtások, terjesztett téveszmék (áltudományok) képében jelenünket is annyira jellemzi. A szélhámosokról, a csalókról, a tudományos pornográfiát képviselő immorális személyekről nem is kell beszélnünk. A könyvben említett esetek nyomán Hwang, Obokata, Niehans, Machiarini példái a tévedéstől a hazugságig releváns bizonyítékai mindezen súlyosan vétkes viselkedésnek, több más mellett az emberek tudományban való hitének elvesztése miatt is.

Egy dán barátomtól hallottam: „Aki csal, annak az az igazán súlyos büntetése, hogy attól fogva ő se fog hinni másoknak.” Az *Élet-re-generálva* a tudományos ismeretátadás egészen rendkívüli példája. A kitűnő magyar fordítás szakmaiságában, kreatív stílusában is méltó, egyenrangú alkotás.

✱

John Rasko – Carl Power (2024). *Élet-re-generálva – Történetek az összejtgyógyászat röögös újáról*. Ford. Rohánszky-Nagy Réka. Budapest: Gingko Kiadó, 400 o.

Falus András

az MTA rendes tagja
Semmelweis Egyetem Általános Orvostudományi Kar, Budapest

Beth Shapiro
Life as We Made It
(Élet, ahogyan mi alakítottuk)

A 2025-ös év gyakran efemer tudományos hírei között felfedezhetünk egy visszatérő nevet: az amerikai Colossal Biosciences júliusban már a harmadik nagy visszhangot kiváltó bejelentését tette. Újabban épp az egykor élt új-zélandi moa „feltámasztását” ígéri, de pár hónappal ezelőtt még azzal borzolták a kedélyeket, hogy ma élő farkasok genomjának szerkesztésével „újrafermentették” az egykor élt „rémfarkast”, illetve pár hónappal korábban „mamutosított” egereik keltettek feltűnést. Ezek a kampányok mindig nagyobb figyelmet és teret kaptak, mint amikor egy átlagos kis biotech startup vállalat próbál egy kis ismertséget szerezni magának a médiatérben; a Colossal a maga 10 milliárd dolláros tőkéjével egyáltalán nem kicsi, és a cégnek dolgozó kutatók között több olyan személy is van, akik a maguk szűkebb kutatási területén abszolút elismerésnek örvendenek. Az egyik ilyen kutató George Church, a szintetikus biológia egyik legtekintélyesebb szakértője, aki talán az egész, kihalt állatok feltámasztását ígérő „deextinkciós” tudományterület keresztapjának is tekinthető, a másik pedig Beth Shapiro, aki a kihalt állatfajok örökítőanyagát vizsgáló archeogenetika elismert szakértője.

És míg Church sosem fukarkodott a bombasztikus kijelentésekkel (már 2013-ban a neandervölgyi ember feltámasztásáról nyilatkozott a *Der Spiegel*nek), egészen a rémfarkasos hírig Beth Shapiro leginkább szakmailag színvonalas tudományos cikkekkel és olyan ismeretterjesztő könyvekkel szerzett ismertséget, amelyek kifejezetten visszafogott optimizmussal szemlélték a biotechnológiát.

Utóbbiak közé tartozik mind a kifejezetten a deextinkcióra fókuszáló 2015-ös könyve, a *How to Clone a Mammoth* (Hogyan klónozzunk mamutot), mind a 2021-ben (egyelőre csak angolul) napvilágot látott *Life as We Made It* (Élet, ahogyan mi alakítottuk).

Könyve első felében bemutatja, hogy a modern biotechnológia megjelenéséig milyen módon változtatta meg az ember a körülötte levő természetet, hogyan hagytuk örökre ott az ujjlenyomatunkat a velünk/mellettünk élő és számunkra hasznos fajok örökítőanyagán, és hogyan változott ennek hatására a saját genomunk is.

A második rész kifejezetten arra koncentrál, hogy az utóbbi pár évtizedben szédítő tempóban bővülő biológiai eszköztárnak köszönhetően milyen lehetőségeink nyílnak arra, hogy az eddig inkább csak véletlen mutációk megjelenésével, majd azok mesterséges kiválogatásával zajló nemesítési folyamatokat célzottan felgyorsítsuk, illetve hogyan segíthetünk magunknak és környezetünknek, hogy az általunk okozott antropológiai terhelés káros hatásait csökkentsük.

A könyv első fele érezhetőbben autentikusabb. E részből megtudjuk, miként lett Shapiro egy bizonytalan, témát kereső doktoranduszról az állati archeogenomika elismert szakértője. Az is kiderül, hogy a kihalt állatfajok genomjának leolvasásával

az írott történelem előtti emberi tevékenységet, és annak az élő környezetre gyakorolt hatását is jól rekonstruálhatjuk. Nagyon tanulságos, hogy bár a bölények (majdnem) kihalását rendszeresen a Vadnyugathoz, a vonat és a lőfegyverek elterjedéséhez kapcsolják, az archeogenomikának köszönhetően tudjuk, hogy mindez jóval korábban, az amerikai kontinens ember általi kolonizálásakor is megtörtént egyszer. Erre utalnak azok az eredmények, melyek szerint a bölények holocénben még meglévő genetikai diverzitásának csak a töredéke maradt meg a 19. század második felére. Az anatómiailag modern ember megjelenése az amerikai kontinensen ugyanúgy a helyi nagytestű élőlények, a megafauna drámai megroppanását okozta, mint később Új-Zélandon is. A bölények egykori majdnem kihalása és a moák tényleges kihalása egyaránt a maguknak új élőhelyeket kereső, vadászó emberek „keze nyomát” valószínűsíti. Hasonlóan érdekes és részletes a saját fajunk evolúcióját, azon belül is a laktázperzisztencia elterjedését leíró rész is.

A második rész kevésbé személyes, bár ahol lehet, Shapiro igyekszik az érintett kutatókat megszólaltatni, és bemutatni, hogy a génmódosítás miként tette lehetővé korábban lehetetlennek tűnő, vagy csak nagyon nehezen megvalósítható újítások megjelenését. A genomszerkesztéssel létrehozott szarvatlan borjúktól az Impossible Foods szintetikus leghemoglobint tartalmazó burgerjeiig sok mindenről olvashatunk. Arról is, milyen technikai és etikai dilemmákkal kell szembenézni, ha a saját fajunkon szeretnénk örökíthető genomváltoztatással járó beavatkozásokat végezni, vagy hogyan tudjuk az általunk előidézett gigantikus műanyagszennyezést és a szinte felfoghatatlan léptékű termőtalaj-pusztítást helyrehozni erre a célra létrehozott mikroorganizmusok segítségével. Olyan témák ezek, amelyeket egy ilyen ismeretterjesztő könyvtől elvárnánk. Shapiro jól ír, és nem állít olyasmit, ami ne lenne tudományosan alátámasztva. Ahol saját tapasztalata kevesebb, ott inkább visszafogott: kevesebbet mond, megnevezve a forrásait is.

És ezért nehéz hova tenni Shapiro közelmúltbeli szerepléseit, immár a Colossal kutatójaként. Míg korábbi, deextinkciós könyvében még kifejezetten szkeptikusan nyilatkozott arról, hogy valóban realiztikus-e deextinkcióról beszélni, a „rémfarkassal” kapcsolatban már ő maga állította, hogy *tényleg* feltámasztották ezt az állatot, hogy aztán hirtelen letagadja az egészet. Tanulságos lesz, ha egyszer megírja majd ezeknek a hónapoknak a történetét is, de az már valószínűleg nem a tudomány műveléséről, hanem a biotechnológiai cégek befektetőinek való ígéretés fontosságáról fog szólni.

*

Beth Shapiro (2021). *Life as We Made It*. London: Oneworld Publications, 352 o.

Varga Máté

egyetemi docens

Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar
Genetikai Tanszék, Budapest