



MAGYAR TUDOMÁNY

- A transzmutáció mint a nukleáris hulladékok kezelésének egy lehetséges útja
- Újszülöttkori szűrővizsgálatok SMA-betegségre
- A populizmus ára: a Brexit-adó



AKADÉMIAI KIADÓ



MAGYAR TUDOMÁNY

HUNGARIAN SCIENCE

A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata

A folyóirat a magyar tudomány minden területéről közöl tanulmányokat, egyes témákat kiemelten kezelve. A folyóirat célja összképet adni a tudományos élet eredményeiről, eseményeiről, a kutatás fő irányairól és a közérdeklődésre számot tartó témákról közérthető formában. Alapítási éve 1840.

Szerkesztőség

Magyar Tudomány
Magyar Tudományos Akadémia
Telefon/fax: (06 1) 459 1471
1051 Budapest, Nádor utca 7.
E-mail: matud@akademiai.hu

Megrendeléseiket az alábbi elérhetőségeinken várjuk:
Akadémiai Kiadó, 1519 Budapest, Pf. 245
Telefon: (06 1) 464 8240
E-mail: journals@akademiai.com
Előfizetési díj egy évre: 11 040 Ft

Hirdetések felvétele: hirdetes@akademiai.hu
© Akadémiai Kiadó, Budapest, 2020
Printed in EU
MaTud 181 (2020) 12

MAGYAR TUDOMÁNY

HUNGARIAN SCIENCE

A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata

Főszerkesztő

FALUS ANDRÁS

Szerkesztőbizottság

BAZSA GYÖRGY, BÁLINT CSANÁD, BOZÓ LÁSZLÓ, CSABA LÁSZLÓ
HAMZA GÁBOR, HARGITTAI ISTVÁN, HUNYADY GYÖRGY, KENESEI ISTVÁN
LUDASSY MÁRIA, NÉMETH TAMÁS, PATKÓS ANDRÁS, ROMSICS IGNÁC
RÓNYAI LAJOS, SARKADI BALÁZS, SPÄT ANDRÁS, VÁMOS TIBOR

Szaklektorok

MOLNÁR CSABA, PERECZ LÁSZLÓ, SZABADOS LÁSZLÓ

Rovatvezetők

GIMES JÚLIA (Kitekintés), SIPOS JÚLIA (Könyvszemle)

Olvasószerkesztő

MAJOROS KLÁRA



AKADÉMIAI KIADÓ



Megjelenik
a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával

HU ISSN 0025 0325

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó Zrt. igazgatója
Felelős szerkesztő: Pomázi Gyöngyi
Termékmenedzser: Egri Róbert
Fedélterv: xfer grafikai műhely sorozattervének felhasználásával Berkes Tamás készítette
Tipográfia, tördelés: Berkes Tamás
Megjelent 13,59 (A/5) ív terjedelemben

Tartalom

Köszöntés

Vizi E. Szilveszter

**1985–1990, A VÁLTOZÁS ÉVEI AZ AKADÉMIÁN.
BEREND T. IVÁN, AKADÉMIÁNK 15. ELNÖKE 90 ÉVES** 1577

Tematikus összeállítás:

Egy hazai tudományos nagyprojekt: a lézeres transzmutáció több szempontból

VENDÉGSZERKESZTŐ: Rác Zoltán

Rác Zoltán

**NAGY KÖLTSÉGŰ, NAGY KOCKÁZATÚ, NAGY HOZAM ÍGÉRETŰ
KUTATÁSOK ÉS A TUDOMÁNYOS KÖZÖSSÉG** 1584

Osvay Károly, Szabó Gábor

LÉZERES NEUTRONFORRÁS FEJLESZTÉSE 1586

Hózer Zoltán

**AZ ATOMERŐMŰVEKBE KELETKEZŐ RADIOAKTÍV HULLADÉKOK
JELLEMZŐI ÉS KEZELÉSÜK** 1603

Szieberth Máté

**A TRANSZMUTÁCIÓ MINT A NUKLEÁRIS HULLADÉKOK
KEZELÉSÉNEK EGY LEHETSÉGES ÚTJA** 1609

Tanulmányok

Halmi Péter

A POPULIZMUS ÁRA: A BREXIT-ADÓ 1621

Kóspál Ágnes

AZ OPTIKAI INTERFEROMETRIA 100 ÉVE A CSILLAGÁSZATBAN 1636

Kuslits Béla

**REZILIENCIA: VÁLTOZÁS ÉS ÁLLANDÓSÁG
TÁRSADALMI-ÖKOLÓGIAI RENDSZEREKBE** 1648

Bartos Blanka

ÚJSZÜLÖTTKORI SZŰRŐVIZSGÁLATOK SMA-BETEGSÉGRE 1657

Neményi Miklós

**AZ AGRÁRIUM ÉS AZ ÖKOLÓGIAI FENNTARTHATÓSÁG.
I. RÉSZ: GLOBÁLIS MEGKÖZELÍTÉS, A GAZDAGOK FELELŐSSÉGE** 1665

Neményi Miklós

**AZ AGRÁRIUM ÉS AZ ÖKOLÓGIAI FENNTARTHATÓSÁG.
II. RÉSZ: A HARMADIK ZÖLD FORRADALOM ÉS A DOLGOK INTERNETE** 1674

Ki a tudós?

Vámos Tibor

A TUDOMÁNY: ÖNVÉDELMÜNK 1683

Vélemény, vita

*Dékány Éva, Alpár Donát, Bálint Erika, Béni Szabolcs, Csupor Dezső, Gselmann Eszter,
Kóspál Ágnes, Máté Ágnes, Toldi Gergely, Török Péter, Solymosi Katalin*

FIATAL KUTATÓK NEHÉZSÉGEI A COVID–19 JÁRVÁNY ALATT 1688

*Jarjabka Ákos, Kuráth Gabriella, Sipos Norbert, Venczel-Szakó Tímea,
Szabó-Bálint Brigitta, Balogh Gábor, Uhrin Anett*

**RUGALMASSÁG, PRODUKTIVITÁS VAGY ELSZIGETELTSÉG?
AVAGY A COVID–19 HATÁSA
A FELSŐOKTATÁSBAN OKTATÓK MUNKAVÉGZÉSÉRE** 1698

Könyvszemle

SIPOS JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

RANGSORBA ÁLLÍTVÁ – Hargittai István 1711

MUZSIKÁLÓ GYERMEKRÁDIÓ – Gyombolai Bálint 1715

Kitekintés

GIMES JÚLIA GONDOZÁSÁBAN 1718

Köszöntés

1985–1990, A VÁLTOZÁS ÉVEI AZ AKADÉMIÁN BEREND T. IVÁN, AKADÉMIÁNK 15. ELNÖKE 90 ÉVES¹

1985–1990, YEARS OF CHANGE AT THE HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES IVAN T. BEREND, THE 15TH PRESIDENT OF OUR ACADEMY IS 90 YEARS OLD

Vizi E. Szilveszter

a Magyar Tudományos Akadémia 18. elnöke



Berend T. Iván
(MTI, fotó: Nándorfi Máté)

Berend Iván, a Magyar Tudományos Akadémia 15. elnöke 2020. december 11-én ünnepli 90. születésnapját. Azzal kezdem ezt az írást: Isten éltesse még nagyon sokáig!

Berend Ivánt 1985-ben a májusi közgyűlésen az Akadémia testülete öt évre választotta meg elnökének. Hogy megérthessük elnöki tevékenységét ebben a történelmi időszakban, egy kicsit vissza kell nyúlni az időben.

Akadémiánk elnökei és tagjai, jó néhány kivételtől eltekintve, mindig is fontos szerepet játszottak az ország tudományos, kulturális, és gazdasági fejlődésében, nyelvünk művelésében, nemzeti megmaradásunk, függetlenségünk kivívásában és reformok kidolgozásában. Széchenyi István gróf célja

az volt, amikor az Akadémia megalapítására javaslatot tett, hogy Magyarország Európa szintjére emelkedjen, és Európa fejlődésének eredményei magyar nyelv-

¹ Köszönetemet fejezem ki Hay Dianának, az MTA Levéltárának igazgatójának, a rendkívül szakszerű és alapos segítségéért.

ven mindenki számára hozzáférhetőek legyenek: „Kiművelt emberfő mennyisége a nemzet igazi hatalma”, vallotta.

Akadémikusok közül sokan a mindenkori kormányok működésében is részt vállaltak. Már az első magyar független felelős minisztérium, a Batthyány-kormány kilenc tagjából öt a Magyar Tudományos Akadémia tagja volt. Ez a későbbiekben sem volt példa nélküli. Tagjaink miniszterekként, miniszterelnökként (Andrássy Gyula, Lónyay Menyhért), sőt államfőként (Straub F. Brunó, Mádl Ferenc, Sólyom László) próbálták szolgálni a *bonum commune*-t, a közös jót, amennyiben a kormányok működése ezt egyáltalán lehetővé tette.

1945. július 20-án Hóman Bálintot, József főherceget és Orsós Ferencet kizárták az akadémia tagjai közül.² A Rákosi-éra alatt Gerő Ernő³ politikus, elnök és Alexits György akadémikus főtitkár vezetésével a „párt” által létrehozott és a kormányfő által irányított Magyar Tudományos Tanács⁴ feladata volt a testület átszervezése és irányítása.⁵ Döntéseivel, tagrevízióval (1949. október 31.) politikai indíttatású kizárásokkal, megfelezték az akkori tagság létszámát, majd 1949 után Rusznyák István⁶ elnöksége során további kizárások történtek (Szalai Sándor szociológus és Sántha Kálmán orvos), akiket viszont még 1956-ban rehabilitáltak. Az osztályharc keretében a közép- és felsőoktatási intézményekből a fiatalság nevelésében alkalmatlannak minősített kiváló szakembereket, tudósokat távolítottak el.

Az 1956-os forradalom leverése után szörnyű megtorlás következett, és a tudományos közéletet is a párt teljes ellenőrzése alá vonták. Az Akadémia működését a kormány főfelügyeleti jogkörébe helyezték.⁷ 1970-től a főtitkárt az Akadémia tagjai közül a közgyűlés ajánlására a kormány (minisztertanács) nevezte ki ötéves időtartamra⁸ mint országos hatáskörű szerv vezetőjét. Az akadémiai intézetektől elvárták, hogy a dialektikus materializmus tudományos világnézete alapján működjenek. Az 1982-es Tudományos Testületeinek Ügyrendjében és Alapszabály-

² Az 1945. július 13-án módosított Alapszabály adta lehetőséggel élve (MTA Alapszabályai 1946. 20a§ (21§) lehetőséget adott a kizárásra az osztály, illetve az összes ülés (közgyűlés) döntése alapján. Ami meglepetés, hogy az akadémikusok saját osztályuk tagjairól, világhírű tudósokról szavaztak magas arányban a kizárásukról. Morális szempontból az is érthetetlen, hogy az 1940–1945 közötti időszakban az Akadémia nem szólalt fel zsidó származású tudós társaik internálása, diszkriminációja ellen. Dolányi Kovács Alajost 1949. április 13-án zárták ki.

³ A Magyar Dolgozók Pártja második embere, közlekedésügyi, majd pénzügyminiszter.

⁴ A miniszterelnök felügyelete alatt működött, 1948. évi XXXVIII. tc. (1948. szept. 8.). Elnök: Gerő Ernő, társelnök: Ortutay Gyula vallás- és közoktatásügyi miniszter, elnökség: Vajda Imre, a Tervhivatal elnöke, Rusznyák István egy. ny. r. tanár, Zemplén Géza egy. ny. r. tanár, ügyvezető titkár: Alexits György.

⁵ Kónya Sándor: Gerő Ernő javaslata az Akadémia átszervezésére. *Magyar Tudomány*, 2000/2.

⁶ MTA elnök 1949. november 29. – 1970. február 5. között.

⁷ 1960. évi 24. tvr.

⁸ 1970-től 38. § (1) és 1979. évi 6. sz. tvr. 8. § (1).

ban még megtalálható, hogy az Akadémia felett a felügyeletet a Minisztertanács gyakorolja és a főtitkárt és helyettesét kinevezi. A Személyzeti Főosztály felügyeletét a főtitkár látja el. Működéséről az elnökségnek számol be, felelősséggel a Minisztertanácsnak tartozik.⁹ Igaz, a 60-as évektől az Akadémia „védőszárnya” alatt, az akadémiai társadalomtudományi intézetekben dolgozhatott néhány olyan értelmiségi és reformközgazdász, akiknek elképzelései nem egyeztek az éppen uralkodó politikai nézetekkel.

„Sine preteritis, futura nulla”, múlt nélkül nincs jövő – tanultuk a latinórán, azaz a múlt nemcsak jelenünket, de a jövőnket is befolyásolja. Berend T. Ivánt¹⁰ 1985. május 10-én megválasztották Akadémiánk 15. elnökének, hogy 1985 és 1990 között vezesse a testületet. A kérdés: mi történt ez alatt az öt év alatt, Berend Iván tevékenysége hogyan járult hozzá ahhoz, hogy az Akadémia megszabaduljon a működését szakmailag és erkölcsileg is megnyomorító béklyóktól. Vezetésével azonnal új alapszabály készült¹¹, amely jelentősen kibővítette a testület belső demokratizmusát. Létrehozta a bizottsági hálózatot, hogy a képviseleti elv érvényesülhessen. A főtitkár „érvényesíti a közgyűlés és az elnökség határozatait, állásfoglalásait”. Megkezdődött az új akadémiai törvény előkészítése is. A legfontosabb változás, hogy a főtitkár és helyettesének kinevezése és felmentése ismét közgyűlési jogkör lett. Kimaradt többek között az, hogy „állami és társadalmi” szerv is kezdeményezhet tagválasztást.

Első dolgai közé tartozott, hogy az 1949-ben a Gerő–Alexits vezette Tanács által méltánytalanul és jogellenesen kizárt 122 akadémikus ügyét felülvizsgáltatta¹², s ennek nyomán 1989-ben egy közgyűlési határozat rehabilitálta a kizártakat.

Az általa vezetett akadémiai *ad hoc* bizottság a Gabčíkovo–nagyymarosi Vízlepcsősorrendszer tervét elvetette, s ezt a Politikai Bizottság ülésén mint az Akadémia elnöke terjesztette elő.

Erre az időszakra esik, hogy a társadalomban, elsősorban az értelmiségi és ellenzéki körökben hatalmas erővel jelenik meg az elmúlt évtizedek rendszerének tagadása és a változtatás igénye. Berend 1988 és 1989 között tagja volt a Magyar Szocialista Munkáspárt (MSZMP) utolsó Központi Bizottságának. Vezetésével készült el az ország első piacosítási és privatizációs átalakításának hároméves ter-

⁹ A Magyar Tudományos Akadémia Alapszabályai, 1982 2§ (1), 12§ (f), 19§ (1) és 29§ (1).

¹⁰ Berend nagyon fiatalon megjárta a poklok poklát, a dachau koncentrációs tábor. Szabadulása után röviddel beiratkozott a Közgazdasági Egyetemre, ahol a professzorai között ott volt Pach Zsigmond Pál, aki már a gimnáziumban is a tanára volt. Ettől kezdve a gazdaságtörténetnek szentelte idejét. Barátjával, Ránki Györggyel megírták a 19. századi Európa gazdaságtörténetét. Gyorsan haladt a ranglétrán, harmincegy éves korában Kossuth-díjat kapott. Tanszékvezető, majd a Marx Károly Közgazdaságtudományi Egyetem rektora.

¹¹ MTA Alapszabályai és Testületi Ügyrendje (1990).

¹² Az elnökségi ülésen maga Berend az előadója, Hómant, Orsóst nem tárgyalják (Elnökség 43/1988 határozata).

ve. Amikor Pozsgay Imre vezetésével megalakult az MSZMP új pártprogramját kidolgozó Munkabizottság, Berend Iván lett a bizottság mellé rendelt Történeti albizottság elnöke. Ő jegyzi azt a 80 oldalas jelentést, amelyben a bizottság arra a következtetésre jut, hogy 1956-ban nem „ellenforradalom”, hanem népfelkelés történt. Ezt a megállapítást jelentette be Pozsgay Imre államminiszter a Kossuth Rádió *168 óra* című műsorában 1989. január 27-én.

Hosszas előkészítés után az MTA az 1990. januári elnökségi¹³, majd a februári rendkívüli közgyűlési¹⁴ határozattal létrehozta a *külső tagság intézményét* azoknak a kimagasló tudományos eredményeket elért kutatóknak az elismerésére, a testületbe történő integrálására, akik külföldi vagy kettős állampolgársággal rendelkeznek, és magukat magyarnak tartják¹⁵. Berend a márciusi elnökségi ülésen javasolta, hogy az osztályok azonnal kezdjék meg az előkészítést annak érdekében, hogy a tagság már a májusi rendes közgyűlésen választhasson külső tagokat. Ezzel az 1990. évi közgyűlési döntések tulajdonképpen kiterjesztették az Akadémia tevékenységét a Magyarországon kívül élő és magukat magyarnak valló tudósok képviselőire. Ezzel az Akadémia megtette a kezdeti lépéseket az MTA nemzeti-összmagyar testületté történő változtatásához¹⁶. Talán vannak, akik még emlékeznek, hogy hogyan hurcolták meg Antall Józsefet, mert azt merete mondani az MDF III. országos gyűlésén, 1990-ben, hogy „...ennek a tízmilliós országnak a kormányfőjeként – lélekben, érzésben tizenöt millió magyar miniszterelnöke kívánok lenni”. Az azóta eltelt harminc esztendő alatt a Magyar Tudományos Akadémia komoly és visszavonhatatlan lépéseket tett a magyar tudományosság államhatárokon átnyúló integrálása terén.

1990-ben telt le Berend T. Iván ötéves elnöki megbízatása. Nem akart tovább az Akadémia elnöke maradni. A tagság többsége, különösen elődje, Szentágothai János viszont nagyon szeretnék volna, hogy induljon a választáson. A februári rendkívüli közgyűlésen viszont már érezhető volt, hogy más a szándéka. A Kossáry Domokost ért támadásokat kivédte, és nyilvánosan elismeréssel nyilatkozott az 1956-os forradalomban való részvétele miatt börtönviselt, és sokáig mellőzött

¹³ 6/1989 sz. elnökségi határozat.

¹⁴ 1990. február 27.

¹⁵ Az elnökség az 1989. január 31-i ülésén a 6/1989 számú elnökségi határozattal (*Akadémiai Közöny*, 1989/5, jún. 16., 83.), elfogadta a határainkon kívül élő magyar vagy magyar származású tudósok tudományos életünkbe történő bekapcsolódását segítő ...javaslatot. A Minisztertanács 1044/1990. (III. 21.) MT határozata a Magyar Tudományos Akadémia Alapszabályainak jóváhagyásáról (*Akadémiai Értesítő*, 1990/4, máj. 18., 53–62.): „A külső tagok, 16. §...(1) A közgyűlés az Akadémia külső tagjává választhatja azt a külföldi, magát magyarnak valló kutatót, aki szaktudományát az akadémikusoktól elvárt szinten műveli és a hazai tudományos élettel szoros kapcsolatot tart.”

¹⁶ Itt mondok köszönetet Tarnóczy Mariann osztályvezetőnek és Morvai Tünde, PhD, osztályvezetőnek (MTA Határontúli Magyarok Titkársága) az értékes információk összegyűjtéséért.

tudós Kosáryról. Őt tartotta az egyetlen alkalmas személynek arra, hogy olyan elnöke legyen az MTA-nak¹⁷, aki meg tudja védeni a „szovjet” típusú akadémiát megszüntetni akaró mozgalommal szemben.

A *Magyar Nemzet*ben 1990. március 21-én nyílt levélben jelentek meg Szentágothai Jánoshoz írt sorai: „Kedves János, mint a Közgyűlés által megválasztott jelölőbizottság elnökéhez fordulok Hozzád. Ebben a minőségemben röviddel ezelőtt, hozzám írott leveledben hangsúlyoztad, hogy tagságunk túlnyomó többsége és Te magad is [...] újraválasztásomat kívánjátok. Ez mélyen megtisztel [...] Nem a feladat elől hátrálok meg, amikor kérem, fogadjátok el bejelentésemet, hogy nem kívánom jelöltetni magam az elnöki posztra [...] Ebben természetesen közrejátsszik, hogy semmiképpen sem kívánnék asszisztálni az Akadémia meggyengítésére irányuló, de a tudományt is elkerülhetetlenül sújtó politikai törekvésekhez, melyeknek elhárítása az én lehetőségeim határán kívül esne, más jelölt azonban esetleg a siker reményével vállalkozhatna a feladat megoldására [...] Mindig büszkeséggel és jó érzéssel fogok visszagondolni az elmúlt fél évtizedre, amikor tagságunk bizalmából egy különleges történelmi időszakban szolgálhattam a magyar tudományt és a Magyar Tudományos Akadémiát. Berend T. Iván”

A közgyűlés 1990. május 24-én titkos szavazással Kosáry Domokost választotta az Akadémia 16. elnökének. S választott még harmincnégy külföldi, de magyar származású tudóst külső tagnak, köztük öt magyar nemzetiségűt Romániából.

Berend elfogadta a Los Angeles-i egyetem meghívását, és a University of California, Los Angeles (UCLA) tanszékvezető egyetemi tanára lett. 1993-ban ki nevezték az Európai és Orosz Kutatások Központja igazgatójává. Közben saját tudományterületén is rendkívüli elismerés éri: a Nemzetközi Történettudományi Társaság alelnökévé, majd elnökévé választották. Sikeres ember lett Amerikában is, egymás után jelentek meg könyvei a legrangosabb kiadóknál (Columbia University Press, Cambridge University Press stb.). Ezekről így ír: „...publikált könyveim száma 40-re emelkedik, amiből 14-et társszerzővel, zömében Ránki Gyurival írtam, 26-ot egyedül. Magam is meglepődtem, amikor publikációs listámba beírtam ezeket az új könyveket. Az utóbbi évek valóságos »betakarítási« évekké váltak számomra”.¹⁸

Berend Iván olyan tudós, akivel nemcsak a szakmáról, de a világ dolgairól, a magyar belpolitikai helyzetről is lehet vitatkozni, egyetérteni vagy egyet nem ér-

¹⁷ Kosáry mellett szól Antall Józseffel való jó kapcsolata is. Antall József bölcsészdoktori disszertációját Eötvös József politikájáról, valamint az 1867-es kiegyezés előkészítéséről írta, amelyben Kosáry Domokos volt a konzulense.

¹⁸ A felesége által biztosított szeretet, az otthon melege, biztonsága és a soha nem csökkenő érdeklődése a gyorsan változó világ és gazdasága iránt, újra és újra írásra készíti.

teni. Az évek során ezt tettem magam is egyes következtetéseit vitatva. Ugyanakkor az állításai igazolásául mellékelt adatokkal, táblázatokkal, az idő függvényében ábrázolt fejlődést vagy visszaesést bizonyító tényekkel már kevésbé. Kutatási módszere az, hogy az egyes gazdasági rendszereket nem önmagukban vizsgálja, hanem összehasonlítja őket, sikereik vagy bukásaik okait belehelyezi a világban történő egyéb folyamatokba, ahogy azt egyik méltatója írta róla. A 20. századi közgazdasági gondolkodás és gyakorlat volt szerinte a felvilágosodás hagyatékának megkoronázása.



Berend T. Iván átadja, Kosáry Domokos átveszi az MTA elnökségét 1990-ben
(Fotó: Szigeti Tamás)

Elnöki időszakában az akadémiai közéletet talán úgy lehet jellemezni, mint egy felbolydult méhkast: mindenkinek, de főleg a fiatalabb generáció tagjainak rengeteg, főleg nyugati tapasztalatokból származó ötlete volt. Berend a késő estékbe nyúló bizottsági üléseken érvelt, vitatkozott, de nem akart mindenáron a saját akarátának érvényt szerezni. Vezetői stílusában mindig fellelhető volt egyénisége: a közösen hozott döntés a közös gondolkodás eredménye kell hogy legyen. Vallotta és vallja, hogy nincs abszolút igazság, a világot nem lehet sem jóvá, sem tökéletessé tenni, csak jobba a más a tegnaphoz, a holnapot a mához képest. Ebben a szellemben vezette az Akadémiát, így vállalt közéleti tevékenységet. Politikailag, igaz, tiszta meggyőződésből állt az állampárt oldalán, de ott is a változásért dolgozott, mert, ahogy írja és vallja: a kor követelményeinek

megértése, az igazság felismerése, a jobbítás szándéka kell hogy az emberi cselekvés alapját képezze. Szerencésnek tartja magát, hogy a magyar és európai történelem talán legizgalmasabb fél évtizedében vezethette az Akadémiát. Sajátos sors jutott s jut neki: annak a lebontásában vett részt, amit előtte felépíteni segített.

2015-ben, 85 éves korában nyugdíjba vonult, és azóta is újabb és újabb „legutolsó” tudományos könyvét írja. Kívánom, még sok „legutolsó” könyve jelenjen meg!

Tematikus összeállítás

EGY HAZAI TUDOMÁNYOS NAGYPROJEKT: A LÉZERES TRANSZMUTÁCIÓ TÖBB SZEMPONTBÓL

A HUNGARIAN FLAGSHIP PROJECT IN SCIENCE: LASER-BASED TRANSMUTATION IN DIVERSE PERSPECTIVES

VENDÉGSZERKESZTŐ: RÁCZ ZOLTÁN

NAGY KÖLTSÉGŰ, NAGY KOCKÁZATÚ, NAGY HOZAM ÍGÉRETŰ KUTATÁSOK ÉS A TUDOMÁNYOS KÖZÖSSÉG (Bevezetés egy esettanulmányhoz)

HIGH RISK, EXPENSIVE PILOT PROJECTS WITH PROSPECTS OF HIGH RETURN: A SCIENCE COMMUNITY PERSPECTIVE (Introduction to a Case Study)

Rácz Zoltán

az MTA rendes tagja
racz@general.elte.hu

A tudományos kutatások támogatását általában az állam feladatának tekintjük, bár a fejlettebb országokban a technológiai és pénzügyi vállalatok kutatási megrendelése hasonló nagyságrendűek, s a kockázati tőke és a filantrópia szerepe sem elhanyagolható. A támogatási szerepek rendszerint elég jól elkülönülnek. Elvileg az állam gondoskodik a stabil kutatási infrastruktúráról, a folyó perspektivikus kutatások fejlesztési igényeiről, valamint az új generációk kiemelkedő tehetségeinek befogadásáról. E területeken belül a tudományos közösség megszokta és helyesnek tartja, hogy a támogatás elosztását tudományos bizottságok rendszere biztosítja. A bizottsági döntések megkerülését a közösség elfogadhatónak tekinti kritikus helyzetekben (lásd például a COVID–19 járványt), amikor a tudományos feladatok kitűzése és szervezése gyorsaságot kíván.

Kevesbé elfogadott a messze mutató, jelentős tudományos és társadalmi hasznossággal kecsegtető, de sokakban kételyeket kiváltó ötletek meghatározóan állami kezelése. Az ilyen projektek darwini kiválasztódása gyorsan megtörténik megfelelő szintű kockázati tőke (és ipari háttér) jelenlétében, s a piaci folyamatok gyakori esetlegessége nem zavarja az adott területen aktív kutatókat. Jelenleg azonban ez a mechanizmus itthon nem működik. A kutatók közvetlenül a kutatási pénzek felett rendelkező állami vezetőknél lobbiznak támogatásért (gyakran a bizottsági rendszer konzervativizmusára és lassúságára hivatkozva keresik a közvetlen kapcsolatokat). Tehát a fejlett államokban szokatlan, *állami kockázati tőkéért* folyik egy verseny, ami a tudományos közösség számára nem túl átlátható, ezért sokan úgy érzik, hogy az elosztási mechanizmus súlyos kívánnivalókat hagy maga után. Várhatóan, a hazai tudományos kezdeményezések számára elérhető piaci kockázati tőke alacsony szintje nem változik a közeljövőben, s az állam szerepvállalása ezen a területen megmarad, továbbra is feszültséget keltve a tudományos közösségben.

Kérdés, hogy az adott körülmények között mit tehet maga a tudományos közösség a feszültségek csökkentése érdekében. Konkrét esetekben a fenti kérdés többször felvetődött az MTA Fizikai Tudományok Osztályának ülésein, s végül az osztály a következő módszert javasolta kipróbálásra. A nagyobb, bizottsági rendszeren kívül kapott pályázatok vezetőit meghívjuk egy osztályülésre vagy vitadélutánra, ahol egyrészt megismerkedhetünk a részletes kutatási tervekkel, másrészt a kételyek megfogalmazóinak is megadjuk a lehetőséget, hogy elmondják érveiket. Amennyiben nyitott kérdések maradnak, a vita írásban folytatódik. A következő három tanulmány egy ilyen vita írásbeli lezárása, amelyet az osztály szervezett a Szabó Gábor és Osvay Károly vezetésével elindult, a hosszú élettartamú nukleáris hulladékok transzmutációs kezeléséhez kapcsolódó lézeres kutatási projektről. Az első cikk a projekt ismertetése, a második Hózer Zoltán áttekintése a nukleáris hulladékkezelés problematikájának egészéről, végül Sziebert Máté foglalja össze a transzmutációs hulladékkezelés alapjait, megvalósíthatósági problémáit, s elemzi a Szegedi Tudományegyetem és az ELI (Extreme Light Infrastructure) együttműködésében fejlesztendő lézeres neutronforrások lehetséges szerepét a transzmutáció megvalósításában.

Természetesen, a vitában részt vevők a felvetett kérdésekre nem találnak kölcsönösen teljesen elfogadható és megnyugtató válaszokat. Lényeges azonban, hogy a megszólalók szigorúan tudományos keretek között kifejtett érvei alapján, a fizikusok széles körében megismerhető, szakszerű információkra építő vélemény alakulhatott ki az adott projektről. A közösség véleménye fontos, s a Fizikai Tudományok Osztálya reméli, hogy a bizottsági megmérettetést elkerülő nagy projektek javasolt ismertetése hozzá tud járulni ahhoz, hogy a megújuló MTA valóban a tudományos minőség és a tudományetika letéteményese legyen.

LÉZERES NEUTRONFORRÁS FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF A LASER-BASED NEUTRON SOURCE

Osvay Károly¹, Szabó Gábor²

¹egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem Nemzeti Lézeres Transzmutációs Laboratórium, Szeged
osvay@physx.u-szeged.hu

²az MTA rendes tagja, egyetemi tanár, Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék,
ügyvezető igazgató, ELI-HU Nonprofit Kft., Szeged
gabor.szabo@eli-alps.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A nagy intenzitású (10^{18} W/cm²), igen rövid (~10 fs) lézerimpulzusokat előállító lézerrendszerek stabilitása és megbízhatósága mára elérte az iparban használatos folytonos lézerekét, átlagteljesítményük pedig közelíti az 1 kW-ot. Az újgenerációs részecskegyorsítók egyik tervezett megvalósítási formája tisztán lézeralapú megoldásokon nyugszik. Mindezek fényében érdemes megvizsgálni a lézeren alapuló neutronforrás kísérleti megvalósításának lehetőségeit is. Dolgozatunkban a nagy ismétlési frekvenciájú, néhány optikai ciklusú lézerrel gyorsított deutériumionok által deutérium- vagy tríciumtartalmú céltárgyfóliában beindított DD- vagy DT-fúzióval (ún. *pitcher-catcher* elrendezés) történő neutronkeltés lehetőségeit járjuk körül. Egy ilyen lézeres neutronforrás – a szimulációk szerint – nagy határfokkal tudna előállítani olyan neutronimpulzusokat, melyek időbeli hossza a jelenlegiekétől több nagyságrenddel rövidebb. A vizsgálatok egyik fő célja annak eldöntése, hogy kísérletileg elérhető-e az a neutronhozam, ami szükséges egy olyan szubkritikus reaktor működtetéséhez, amellyel megvalósítható a kiegészített nukleáris fűtőelemekben található hosszú élettartamú aktinidák (Np, Am, Cm) transzmutációja.

ABSTRACT

Stability and endurance of high intensity, short pulse laser systems have recently reached those of the industrial CW lasers, while their average power is approaching 1 kW. A class of planned new generation particle accelerators are based on lasers only. Hence, it is worth investigating the possibilities and experimental challenges of a laser based neutron source. In this paper we study the neutron generation via DD or DT fusion with deuterium ions accelerated by high repetition rate ultrashort pulse lasers (the so called *pitcher-catcher* scheme). According to the simulations, such arrangement would result in considerable higher efficiency neutron pulses with many orders of magnitude shorter pulse duration than the existing neutron sources. One of the major aims is to investigate whether the achievable neutron yield would be sufficient enough to feed a subcritical reactor for transmutation of minor actinides (Np, Am, Cm) of spent nuclear fuel.

Kulcsszavak: lézeres iongyorsítás, neutronkeltés, nukleáris transzmutáció

Keywords: laser acceleration of ions, neutron generation, nuclear transmutation

BEVEZETÉS

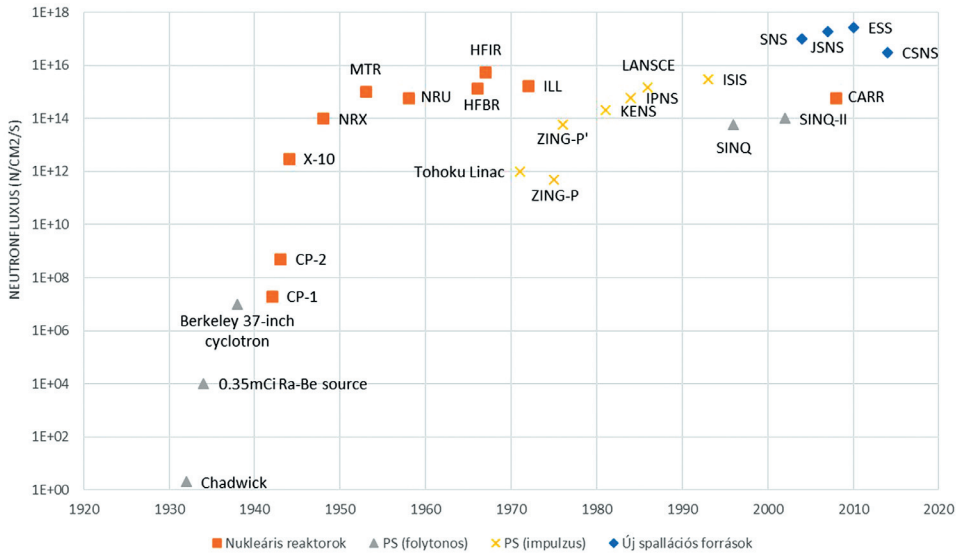
A neutronok és a neutronokon alapuló kutatások olyan szerteágazóak, hogy ezeknek csupán a felsorolása is szétfeszítené jelen dolgozat kereteit. A nukleáris fizikában, anyagtudományokban, biológiai és orvostudományokban a neutronokat elsősorban az anyag (atómi) módosítására, illetve diagnosztikájára használják. A neutron különleges tulajdonságai miatt olyan anyagi jellemzők is vizsgálhatók, melyek más mérési eljárások számára láthatatlanok. A számtalan alkalmazás közül itt csak a nukleáris iparra koncentrálunk. Az emberiség energiagondjai és a CO₂-kibocsátás drasztikus csökkentése egyidejűleg nem oldható meg a nukleáris energia intenzív alkalmazása nélkül. A ma elérhető neutronforrásokban keltett neutronokkal a jelenlegi, illetve jövőbeni fissziós, illetve fúziós reaktorok anyagai vizsgálhatók, különösen, ami az élettartam és (anyag)stabilitási kérdésköröket illeti. Szorosan a nukleáris iparhoz tartozik a nukleáris hulladékkezelés kérdésköre, azon belül is a transzmutáció, mely kapcsolatot Hózer Zoltán jelen összeállításban megjelent tanulmányából (Hózer, 2020) is ismerhetjük.

A transzmutációval kapcsolatos kutatásokról részletesen Szieberth Máté írása szól ugyanitt (Szieberth, 2020). Ehelyütt csak annyit említenénk meg, hogy jelenleg Belgiumban épül egy többcélú, kísérleti reaktor (Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications, MYRRHA), amelyet egy 400 méter hosszú lineáris gyorsítóban előállított protonnyalábbal hajtanak majd meg. A MYRRHA-projekt egyik célja – több más mellett –, hogy a gyors neutronokkal történő besugárzáson alapuló transzmutációs eljárás egyes műszaki/tudományos kérdéseire választ adjon. A MYRRHA-projekt költségvetése 1,6 milliárd €, a részleges működést 2033-tól, a teljes működést 2036-tól tervezik. Mivel dolgozatunk fő célja egy nagy átlagfluxust biztosító lézeres neutronforrás fejlesztését célzó projekt bemutatása, célszerű röviden áttekinteni a jelenlegi neutronforrások főbb jellemzőit.

I. NEUTRONFORRÁSOK

A korai neutronforrások reaktorokon alapultak, mely technológia a (civil) kutatások irányában reaktorbiztonsági okok miatt nem skálázható tovább (*1. ábra*). Az ilyen felhasználói kutatóreaktorok csúcsa az ILL (Grenoble) és HFIR (Oak Ridge), illetve kisebb léptékben a Budapesti Kutatóreaktor (BNC – Budapest

Neutron Centre). A neutronfluxus növelését a következő generációs források teszik lehetővé. Ezek a protongyorsítók alapuló spallációs neutronforrások (SNF), mint például Japánban a J-PARC, az SNS Oak Ridge-ben, vagy a lundi European Spallation Source (ESS). A spallációs források beruházási (ESS: ~1,9 milliárd €) és üzemeltetési költsége egyaránt igen magas, aminek csökkenésére a jövőben sem lehet számítani, hiszen elengedhetetlen alkotóelemük egy nagy energiájú (0,5–2 GeV) protongyorsító.



1. ábra. Termikus neutronforrások fluxusának időbeli fejlődése. Az újgenerációs források esetén a megvalósítás kezdetének éve szerepel (PS: particle driven sources)

A transzmutáció szempontjából a forrásnál, még pontosabban a forrás után közvetlenül elhelyezett moderátorból kilépő neutronszámmal hasznosabb mutató a besugározni kívánt mintán létrehozható neutronfluxus. Ez az SNF-ek esetében a forrásnál mérhető fluxushoz képest két alapvető ok miatt jelentősen kisebb. Egyrészt a neutron céltárgy (amelyből a gyorsított protonok kiváltják a neutronokat) erős sugárvédelmi árnyékolása miatt távol kell elhelyezni a mintát. A legkisebb távolság az ESS tekintetében például 25 méter, de nyalábvonaltól függően akár 300 m is lehet, a neutronfluxus pedig – normál esetben – a forrástól vett távolság négyzetével fordítottan arányos. A neutronvesztésen a neutron hullámvezetők segítenek, de azok elsősorban a hideg neutronokra működnek megfelelő hatással. Másrészt, a minta besugárzásához a neutronspektrum optimális kialakítása mechanikai szagatókkal történik, ami tovább csökkenti a tényleges neutronszá-

mot a mintán. Azaz, a spalláción alapuló újabb generációs neutronforrásoknál a mintát elérő termikus neutronfluxust az eddigi módszerek technikai korlátai (valamint költségei) miatt várhatóan egy nagyságrenddel lehet majd növelni az elkövetkezendő évtizedekben.

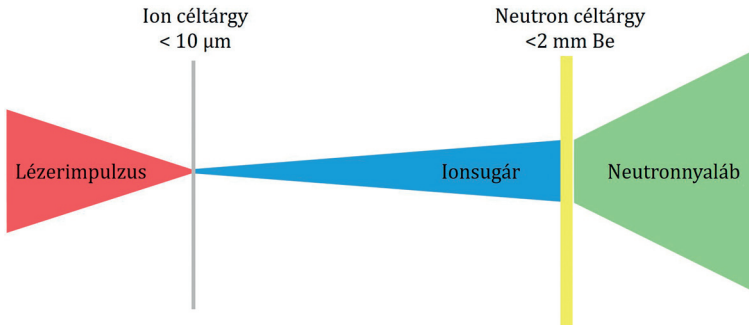
A kis és közepes teljesítményű hideg, illetve termikus neutronforrások mára kereskedelmi forgalomban is kaphatóak. A jellemzően 10^8 – 10^{10} n/sec eszközök iránti, tipikusan ipari szintű igény folyamatosan nő. Ezt Magyarországon is láthatjuk, hiszen az évtizedek óta működő BNC, illetve a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) oktatóreaktora mellett Martonvásáron egy kifejezetten ipari-üzleti célokra használható neutronforrás épül. Egy, az IAEA (International Atomic Energy Agency) által végzett felmérésből az is kiderül, hogy ugyanakkor egyre nagyobb felhasználói igény jelentkezik a fentiekől jelentősen nagyobb fényességű és flexibilisebb neutronforrások iránt, melyek akár kisebb laboratóriumokban is elérhetőek lehetnének (kisebb, mint az ESS vagy az ILL). Megemlítendő, hogy az eddigi (termikus) neutronforrások részben folyamatosan működésűek, azaz kibocsátásuk időben állandó, részben impulzusüzeműek. A neutronimpulzusok időtartama tipikusan néhány mikroszekundum, amely mechanikai szaggatókkal ns környékére csökkenthető.

II. LÉZERES NEUTRONFORRÁSOK

A lézeres iongyorsítás fejlődése napjainkra már oda vezetett, hogy PW-osztályú lézerekkel ma már rutinszerűen állítanak elő 50 MeV és nagyobb energiájú protonokat, ami azonban még elég messze van a spallációs forrásokban használt 0,8–2 GeV tartománytól. Ezért a lézeres forrásokban a neutrongenerálás nem nagy magok fragmentálásán, hanem kis magok magreakcióin – például DD- vagy DT-fúzió, illetve ${}^9\text{Be}(p,n){}^9\text{B}$ reakció – alapszik (Roth et al., 2013). Bár neutronok kelthetők úgy is, hogy a lézert egy *bulk* céltárgyra fókuszáljuk, mi a továbbiakban, előnyös tulajdonságai miatt, az ún. „pitcher-catcher” elrendezéssel kívánunk részletesebben foglalkozni. Ebben az esetben a nagy intenzitású lézerimpulzus ($>10^{18}$ W/cm²) először egy „ion” céltárgyra (pitcher) esik, amelyből ionnyaláb (általában proton vagy deuteron) lép ki jól meghatározható térszögben (2. ábra). Ezt követően helyezik el a „neutron” céltárgyat (catcher), amely a proton, illetve deuteron kívánt magreakcióján keresztül neutronokat bocsát ki.

A fentebb leírt neutronkeltési mechanizmus – a spallációval ellentétben – kis Z-jű anyagokon alapszik. Ennek folyamánya, hogy hasadási termék nem és általában is kevesebb radioaktív termék keletkezik, továbbá a (neutron)target jóval kisebb hőteljesítménynek van kitéve. Ezek együtt azt eredményezik, hogy a hűtőrendszer is és a sugárzásárnyékoló védművek is jelentősen kisebbek lehetnek, így a minta közelebb kerülhet a neutronforráshoz. Ráadásul a lézerkeltett deutériumok

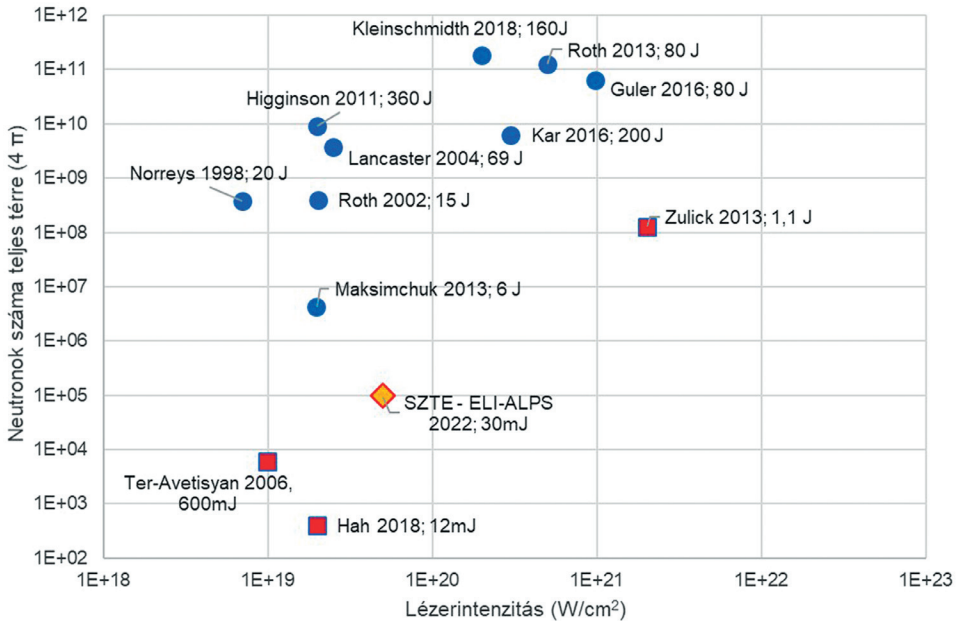
által kiváltott neutronok – az eddigi kísérletek tanúsága szerint – a hagyományos termikus neutronforrások 4 pi térszögétől eltérően jelentősen kisebb térszögben, kvázi-kollimált nyalábként terjednek, így várható, hogy a besugározni kívánt mintán a neutronforrásból származó összes neutrons szám tekintetében nagyságrenddel több neutron jelenhet meg, azaz ugyanazon neutrons számot figyelembe véve nagyobb neutronintenzitást lehet elérni, mint a spallációs vagy reaktoros neutronforrások esetén.



2. ábra. Egy pitcher-catcher sémájú lézeres neutronforrás elvi vázlata

A legelső, pitcher-catcher elrendezésű lézeralapú neutronkeltési kísérlet az angliai Rutherford Appleton Laboratoryban történt 1998-ban (Norreys et al., 1998). Az akkor és azóta végrehajtott hasonló kísérleteket szinte kizárólag több J, esetenként több 10 J energiájú, viszonylag hosszú, szubpikoszekundumos lézerimpulzusokkal végezték el (3. ábra) (Kar et al., 2016; Higginson et al., 2011; Maksimchuk et al., 2013; Roth et al., 2002). Az eddigi egy lövéssel elért neutrons szám csúcserékét a német GSI intézet PHELIX-lézerével (160 J, 600 fs) érték el 2018-ban (Kleinschmidt et al., 2018). A térszögegységre eső mért neutrons szám $1,42 \pm 0,25 \times 10^{10}/\text{str}$ volt, amely a forrástól 1 m távolságban megfelel $430 \pm 50 \mu\text{Sv}$ dózisnak. A neutronnyaláb nyílásszöge kb. 100° volt. Csak néhány esetben próbálkoztak eddig sikerrel 100 fs-nál rövidebb impulzusokkal (négyzettel jelölt pontok) (Zulick et al., 2013; Hah et al., 2018; Ter-Avetisyan et al., 2005).

A teljesség kedvéért hozzátesszük, hogy a pitcher-catcher séma mellett a neutrongenerálás úgy is megvalósítható, hogy egy (deuterizált) céltárgy van, és a céltárgyban önmagában jelen lévő deutériummal lép kölcsönhatásba a céltárgy elülső felületén képződött plazmából származó ion. Ez tipikusan folyadékjetekben (Ter-Avetisyan et al., 2005), gázjetben (Alvarez et al., 2014), illetve vastagabb deuterizált polietilénben (Pretzler et al., 1998) történhet, azonban a folyamat – a pitcher-catcher sémához viszonyítva – jóval alacsonyabb hatásfokú és nehezebben optimalizálható.



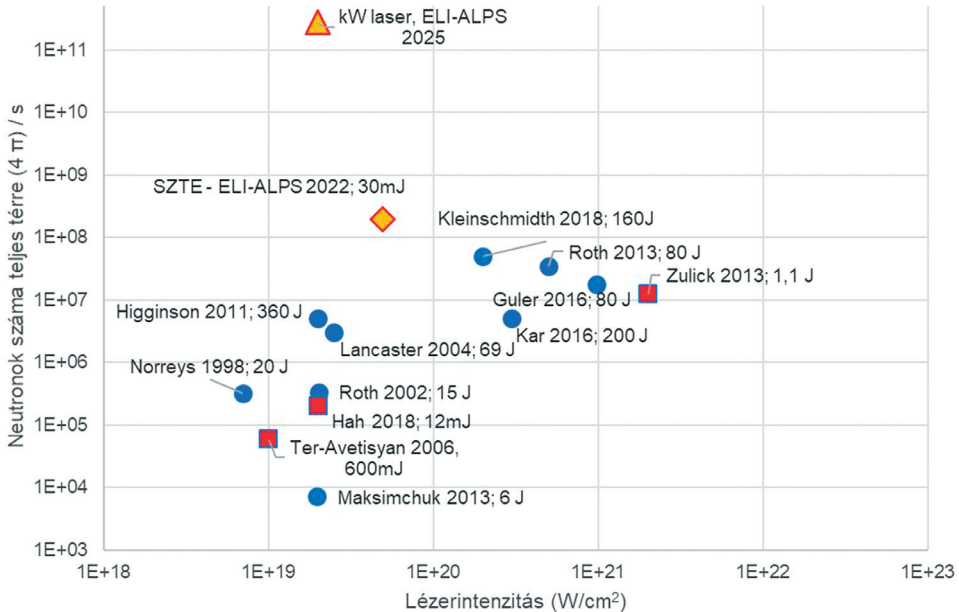
3. ábra. Lézeres neutronforrások. A kör alakú jelölésekkel ps-os lézerekkel elérték, négyzetekkel 100 fs-nál rövidebb lézerimpulzusokkal elért egylövéses eredmények. A keltett neutrons szám a hagyományos neutronforrásokhoz való viszonyítás kedvéért a teljes térszögre számítva.

A rombuszsal jelzett neutrons számot a többihez képest jelentősen kisebb impulzusenergiával és rövidebb impulzussal tervezzük elérni

A felhasználás szempontjából azonban a lövésenként előállított neutrons számnál érdekesebb az időegység alatt előállított neutrons szám. Jól látható, hogy ebben az esetben a rövid impulzusú, a többi lézerhez képest nagyobb ismétlési frekvenciájú lézerekkel előállítható neutrons szám a nagy impulzusenergiájú lézerekkel előállított neutrons számmal hasonló nagyságrendbe esik (4. ábra).

Az általános áttekintés után a továbbiakban a Szegedi Tudományegyetem Nagy Intenzitású Lézerek Magfizikai Alkalmazásai Intézete (NILMAI) által koordinált, nemzetközi együttműködésben megvalósuló projekt bemutatására fókuszálunk. Bár a projekt távlati célja a hosszú felezési idejű aktinidák transzmutációjára *Tadzshima* Tosiki (Toshiki Tajima) és Gerard Mourou által javasolt eljárás (T–M-séma) megvalósíthatóságának vizsgálata, a részletes munkaterv a lézeres neutronforrás koncepcionális kérdéseinek megválaszolására fókuszál. Ezért a T–M-sémának csak azon elemeit kívánjuk felidézni, amelyek a neutronforrással szemben támasztott követelmények megfogalmazásához szükségesek. (Megjegyezzük, hogy a T–M-séma megvalósításához a neutronforrás csak szükséges, de messze nem elégséges feltétel, mivel számos további kriti-

kus elem is megoldásra vár, így jelen dolgozatban nem kívánunk foglalkozni a T–M-tranzmutátor megvalósíthatóságának általános kérdéseivel.)



4. ábra. Lézeres neutronforrásokkal elvileg elérhető másodpercenkénti neutronhozam DD-reakciót feltételezve

A T–M-séma lényege egy sóolvadék-alapú szubkritikus reaktor, amelybe a kezelendő anyag betáplálása kvázi folytonosan történik, és a kimeneti oldalon a megfelelő kémiai szeparáció után a hasadási termékek hasonlóképpen folyamatosan távoznak. A szubkritikus rendszer folyamatos működését a lézeres neutronforrásokból származó gyors neutronok tartják fenn. A többes szám használata itt nem esetleges, mert a vezérlési koncepció lényeges eleme az, hogy több tíz lokális forrás biztosítja a megfelelően homogén neutroneloszlást és a szükséges időfeloldású neutronfluxus kontrollját. (Vegyük észre, hogy a több forrás párhuzamos alkalmazása egyúttal azt a redundanciát is biztosítja, ami egyébként egy kritikus kérdés a gyorsítóval hajtott szubkritikus reaktorok esetében is.) A szimulációk szerint a szükséges minimális neutrons szám néhányszor 10^{14} n/s, így, ha a minimális tíz forrással számolunk, akkor egy forrásnak legalább 5×10^{13} n/s-ot kell biztosítania. A kezelendő magok esetén a fission hatáskeresztmetszete az alacsony neutronenergiák felé nő, így logikus lenne például termikus neutronokkal dolgozni. A probléma azonban az, hogy a ^{241}Am esetében a néhány tized MeV-nél kisebb neutronenergiák esetén a neutronbefogás hatáskeresztmetszete két nagy-

ságrenddel meghaladja a fissionióét, azaz ekkor a neutronok eltűnnek, mielőtt a kezelendő magokban hasadást hoznának létre. A hatáskeresztmetszetek közötti arány MeV környékén megfordul, és kb. 10 MeV-nél már a fissionió hatáskeresztmetszete nagyobb két nagyságrenddel. A ^{243}Cm esetén ez az arány már 1 MeV neutronenergiáknál jelentkezik. Ebből következően a neutronforrással szemben elvárás az 1–2 MeV-nél nagyobb energia. Fontos megjegyezni, hogy a T–M-konceptió gyakorlati alkalmazásának az is feltétele, hogy a neutronforrás létesítési költsége a spallációs források költség szintjének töredéke legyen. Tekintetbe véve, hogy az ELI-ALPS Lézeres Kutatóintézetben tervezett kísérletekhez használt lézerrendszerek ára jellemzően az 5–10 millió euró tartományba esik, erre nézve jók a kilátások.

A magyar kormány egy kormányhatározatban döntött arról, hogy az ELI-ALPS kihasználtságának növelése mentén elindítja a (lézeres) nukleáris hulladék kezelése projektet. Ennek keretén belül a transzmutációhoz szükséges lézeres neutronforrás kifejlesztését mint nemzeti kutatási programot három évre, összesen 3,5 milliárd forinttal támogatja, és megbízta a Szegedi Tudományegyetemet, hogy a projekt sikeres megvalósítása érdekében egy nemzetközi konzorcium munkáját koordinálja. A három intézmény a párizsi École Polytechnique (EP), amelynek professzora a Nobel-díjas Gerard Mourou; a kaliforniai székhelyű TAE vállalat, amelynek tudományos igazgatója *Tadzsima* Tosiki (Toshiki Tajima) professzor; valamint a Szegedi Tudományegyetem. A felek által 2019. április 5-én aláírt együttműködési szándéknyilatkozat célja, hogy biztosítsa a kereteket ahhoz, hogy a három intézmény – további együttműködő partnereket is bevonva – a projektet sikeresen megvalósítsa. A továbbiakban ennek a projektnek a főbb lépéseit tekintjük át.

II.1. Lézeres iongyorsítás

Amint azt fentebb bemutatunk, az elvárt neutronenergia minimuma néhány MeV. Ennek a DD- vagy DT-fúzió során keletkező neutronok megfelelnek, így a továbbiakban elsősorban a deutérium ionforrásokkal foglalkozunk.

Ha egy nagy intenzitású ($>10^{18}$ W/cm²) lézerimpulzus néhány mikron vastag céltárgyra esik, akkor a kölcsönhatási területen sűrű plazma keletkezik. Az ebben keletkezett szabad elektronokat a lézerimpulzus nagy ponderomotoros ereje relativisztikus energiára gyorsítja. Ezen forró elektronok elhagyják a céltárgyat mind visszafelé, a lézer irányába, mind pedig előre felé, a céltárgy maradékának irányába (Ledingham–Galster, 2010; Macchi, 2017).

Ha a szilárdtest kellően vastag (tipikusan több mikron), akkor a forró elektronok áthaladnak a céltárgyon, és a hátsó felületen úgynevezett Debye-burkot hoznak létre. A Debye-burok a céltárgyat annak hátsó oldalára merőlegesen hagyja el. Ezen folyamatban a céltárgy hátsó oldalára tapadt, a legújabb kutatások szerint

(Lécz et al., 2020) mindössze néhány nm vastag szennyeződésekben származó molekulák, illetve atomok a nagy elektromos térben (\sim TV/M) ionizálódnak, a keltett ionokat a Debye-elektronok mintegy maguk után húzzák, azaz gyorsítják. Ezt Target Normal Sheath Acceleration (TNSA) mechanizmusnak nevezzük (Ledingham–Galster, 2010; Macchi, 2017). Kísérletekkel kimutatták, hogy ezek a nagy időbeli tisztaságú (azaz előimpulzus-mentes [Ledingham–Galster, 2010; Batani et al., 2010]) lézerimpulzusokkal létrehozott ionok egyedülálló tulajdonságokkal rendelkeznek. Néhány J energiájú lézerimpulzusokkal akár 10^{13} iont lehet előállítani, melyek csúcsergiája elérheti a 80 MeV-ot, az ionok alkotta impulzus időbeli hossza a lézerimpulzus idejével azonos nagyságrendbe esik (azaz tipikusan ps vagy ps alatti), az elérhető áramerősség akár több kA is lehet, és az ionsugár térbeli irányítotttsága meglepően nagy.

Ha a szilárdtest céltárgy elegendően vékony (<1 mikron), akkor a keltett plazmában a forró elektronok töltésszeparációjából adódó TV/m tér a közvetlenül a plazmában létrejött ionokat tudja gyorsítani. Ezt sugárnyomás-gyorsításnak (Radiation Pressure Acceleration, RPA) nevezik (Esirkepov et al., 2004). A céltárgy felületi sűrűsége, illetve az intenzitás növelésével érhető el az ún. *light-sail* (LS) tartomány, ahol az RPA a teljes céltárgyfólia keresztmetszete mentén erősödő hatást ér el, ahogy a céltárgy vastagsága a ponderomotorikus erő evaneszcens hosszához mérhető vagy annál vékonyabb lesz. Az LS-tartományban viszonylag magas fluxusú (10^{12} részecske/MeV/Sr), rendkívül jól kollimált ionok – függetlenül a töltés-tömeg arányától – több tíz MeV energiára gyorsulhatnak. A fő különbség a TNSA és az RPA közt, hogy az előbbinél az ionok gyorsítását végző elektronfelhő már „szabadon”, felgyorsítva mozog, míg az utóbbi esetén az elektronok az ionok gyorsítása után is kölcsönhatnak a lézerimpulzus terével.

Ha az RPA-szerű gyorsítást létrehozó lézerimpulzus időbeli hossza néhány optikai ciklusnyi, azaz tipikusan 15 fs vagy attól rövidebb, akkor az LS-tartományban lejátszódó gyorsítást *Tadzsim*a Tosiki javaslatára koherens lézeres iongyorsításnak (Coherent Amplification of Ions by Laser, CAIL) nevezik (Necas et al., 2020). Ebben az esetben a céltárgy vastagsága – az impulzusok időbeli hosszához igazodva – mindössze néhány 10 nm-nyi, azaz a fény hullámhosszának csak huszada. A CAIL-séma szerinti gyorsítás esetén az elméleti számítások igen magas, akár jóval 10% feletti iongyorsítási hatásfokot (a gyorsított ionok és a lézerimpulzus energiájának hányadosa $>10\%$) jósolnak. Érdeemes megemlíteni, hogy a gyorsítási hatásfok a TNSA esetén jelentősen 1% alatt marad.

Ahhoz, hogy a döntő módon lézereken alapuló iongyorsítóról, és így következő generációs neutronforrásokról lehessen beszélni, több tudományos-műszaki kihívást meg kell oldani. Egyrészt a lézeres oldalon olyan nagy átlagteljesítményű, azaz tipikusan nagy ismétlési frekvenciájú (10 Hz–100 kHz) lézereket kell kifej-

leszteni, melyek képesek legalább tíz órán keresztül 1%-on belüli csúcsteljesítmény-ingadozással működni. Azaz, a kibocsátott lézerimpulzusok energiájának és időtartamának hányadosa 1%-on belül kell hogy legyen.

A másik nagy kihívás az ion-céltárgy kérdése (Prencipe et al., 2017). Amikor a lézerimpulzussal egy nagy atomi sűrűségű, tipikusan szilárd ilyen céltárgyra való fókuszálással keltünk plazmát, akkor azon a helyen a céltárgy kilyukad. Azaz, a lézeres iongyorsításhoz feltétlenül szükséges a céltárgy pótlása olyan ütemben, amilyen ütemben a lézerimpulzusok érkeznek. Ha ehhez hozzátesszük, hogy a céltárgy vékony (a CAIL-séma esetében néhány tíz nanométer), valamint a pozícióját is néhány 10 mikronon belül kell tudnunk tartani, látjuk, hogy a megoldás egyáltalán nem triviális.

II.2. Lézeres neutronforrás és az ELI(-ALPS)

A CAIL elmélete (és az eddigi néhány kísérlet [Neely et al., 2006; Steinke et al., 2010; Scullion et al., 2017]) alapján valószínűsíthető, hogy a minél rövidebb a lézerimpulzus és vékonyabb a céltárgy, annál nagyobb a gyorsítási hatások. Az eddig elérhető, 10^{19} W/cm² intenzitást a céltárgyon előállítani képes lézerimpulzusok időtartama 35 fs és annál hosszabb volt, így a gyorsítási hatások csak kevéssel haladta meg az 1%-ot. A szegedi ELI-ALPS Lézeres Kutatóközpontban a jelenlegi csúcstechnológiát képviselő SYLOS-lézer <7 fs lézerimpulzusaival a szimulációk szerint a hatások bőven 20% fölé vihető.

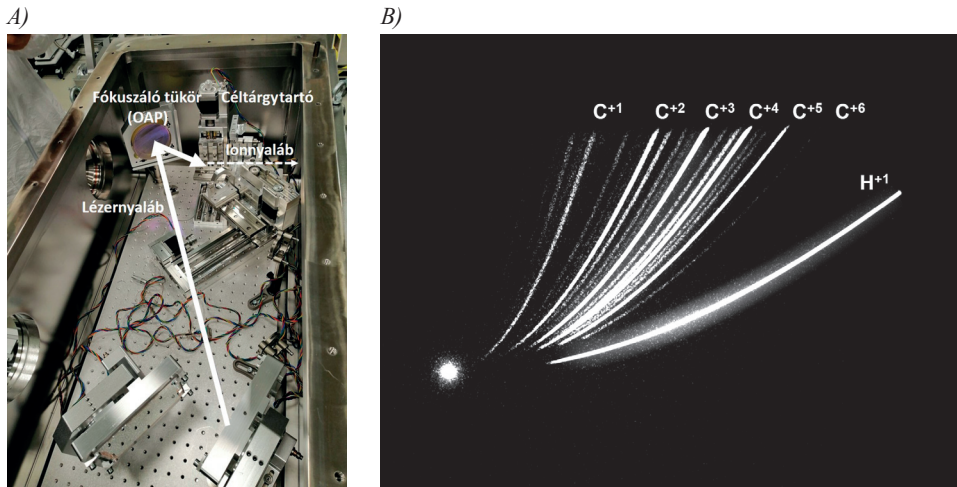
A gyakorlati alkalmazásokhoz, így a transzmutációs folyamat fenntartásához az időegység alatt előállított neutronszám a mérvadó. Azaz, a rövid impulzushossz mellett a másodpercenkénti impulzusszám is egy igen lényeges gyakorlati paraméter. Mindkét feltételnek az ELI-ALPS 1 kHz ismétlési frekvenciájú SYLOS-lézere tesz eleget, melynek jelenleg nemzetközi szinten is unikális a helyzete (Toth et al., 2020).

III. A LÉZERES TRANSZMUTÁCIÓS PROJEKT

A projekt megvalósításának első szakaszában, egyes lövéses üzemmódban a kívánt energiára gyorsított proton hozammaximalizálása történik, azaz alapvetően a CAIL gyorsítási séma részletes kísérleti vizsgálata és optimalizálása. A kísérleteket a NILMAI kutatócsoportja (további tagok: Dr. Sargis Ter-Avetisyan, Dr. Szon Dzsungon [Joon-Gon Son] és Párvin Farmazijar [Parvin Varmazyar]) már megkezdte (5. ábra).

A következő lépésben a protonokon nyert kísérleti tapasztalatok alapján finomított kísérleti tervek szerint a deuteronok CAIL-séma szerinti gyorsításának optimalizálása történik. Ezt követi a DD fúzió optimalizálása, illetve a maximális

neutronhozam elérésén keresztül a neutronok keltése. A célunk az egy lézermimpulzussal létrehozható neutronhozam maximalizálása. A tervek szerint ezt a fázist 2021 végére érjük el (lásd a rombusz jelzést a 3. és 4. ábrákon). A kísérletek túlnyomó részét az ELI-ALPS-ban tervezzük, ugyanakkor egyes részkísérletekre partnereinknél (a prágai ELI-Beamlines, a Párizs környéki EP és a drezdai HZDR) is sor kerülhet. A kísérleteket támogató elméleti modellezéseket és szimulációkat a partnerekkel közösen végezzük.



5. ábra. Az ELI-ALPS-ban megkezdett első mérési kampány.

A) A kísérleti vákuumkamra belseje;

B) A gyorsított ionok Thomson-spektrométerrel felvett képe (12 fs, 30 mJ impulzus és 5 nm vastag szénfólia)

Külön kihívást jelent az időben rövid neutronsomagok detektálására szolgáló mérőrendszer kifejlesztése, melyen az ATOMKI munkatársaival együttműködve a projekt elejétől kezdve dolgozunk.

Az egylovéses protongyorsítási kísérletekkel párhuzamosan fizikai-műszaki alprojekteket indítottunk nagy ismétlési frekvenciájú céltárgyrendszerek kifejlesztésére, amelyben Magyarországról a BME, külföldről az EP, illetve az Ohio University vesz részt. Jelen tudásunk szerint a megoldást a nagy nyomású (critical density) gázjetek, vékony (<100 nm) folyadéksugár jetek, illetve speciális vékonyfilmek (<100 nm) jelenthetik. Amint a céltárgyfejlesztés megfelelő fázisba ér, úgy a tervek szerint a projekt harmadik évében a proton-/deuteronkeltést folyamatos üzemben, 1 Hz, 10 Hz, és nagyobb ismétlési frekvenciával teszteljük.

A további összehasonlítás kedvéért a projekt eredményeképpen megvalósítható célkitűzést a 4. ábrán tüntettük fel (háromszög). A számítás gondolatmenete

a következő. A szimulációk szerint a CAIL-séma szerinti deutériongyorsítás hatásfoka 6 fs impulzusokra meghaladhatja a 20%-ot is, azaz egy lézerimpulzus energiájának 20%-a a gyorsított ionok összenergiájába konvertálódik. 1 J lézerenergiát, illetve 100 keV D-ionenergiát feltételezve ez $1,25 \times 10^{13}$ D iont jelent. A DD-fúzió hatáskeresztmetszete ezen az energián $3,7 \times 10^{-2}$ barn. A deuteron-tartalmú target sűrűségét 3×10^{22} cm⁻³-nek, vastagságát 0,2 mm-nek véve, a fúzió valószínűsége egy D-ionra vetítve $2,2 \times 10^{-4}$ -nek adódik, azaz egy J impulzusenergiára eső neutronszám $2,75 \times 10^8$ n/J. Az ELI-ALPS-ban a tervek szerint egy éven belül installálják azt a fs-os lézerrendszert, amelynek átlagteljesítménye 500 W, amely teljesítmény egy további év alatt megduplázódhat. Azaz, a projekt eredményeképpen létrejövő *know-how*-n alapulva 2025-re 1 kW lézer (átlagteljesítménnyel számolhatunk, ami a fentiek szerint $2,75 \times 10^{11}$ neutron/s hozamot jelent. Megjegyezzük továbbá, hogy a DT-fúzió hatáskeresztmetszete 75 keV gyorsított D-energián két nagyságrenddel nagyobb, ezért tríciumos catcher targetet feltételezve a várható neutronhozam 3×10^{13} n/s lehet. Azaz, egy lézeren alapuló neutronforrás valóban néhány év karnyújtásra lehet. Természetesen ehhez meg kell oldani a nagy ismétlési frekvenciájú, túlnyomó részben deutériumot tartalmazó vékony céltárgy kérdését, valamint a gyorsított deutériumok 50–100 keV közti közel monoenergiás eloszlását is.

Itt érdemes röviden áttekinteni, hogy mi várható középtávon a lézerek fejlesztésének a területén. A lézerek csúcshintenzitása az elmúlt két évtizedben több mint három nagyságrenddel nőtt, míg az átlagteljesítmény két nagyságrendet növekedett. Jelenleg nem ismeretes olyan fundamentális fizikai, illetve technológiai akadály, amely gátat vethetne a 10 kW átlagteljesítményű, rövid impulzusú lézerek tíz éven belül való megjelenésének. Ezt mind Európában, mind pedig az USA-ban (kBELLA-projekt) felismerték, és jól megtervezett menetrendet alakítottak ki a lézereken alapuló, újgenerációs elektrongyorsítók kifejlesztésére (EUPRAXIA-, KALDERA-, illetve a kBELLA-projekt). Ez azt is jelenti, hogy középtávon akár 3×10^{12} n/s-ot (tríciummal 3×10^{15} n/s-ot) meghaladó hozamú források is elérhetővé válnak.

Bár a neutronforrás főbb elvárt paramétereit a T–M-transzmutátort alapul véve határoztuk meg, de egy megbízható, rugalmas neutronforrás egyéb alkalmazásokat is lehetővé tesz. Ezért további partnerekkel (a francia CEA és IPNO, JRC Karlsruhe, illetve BME, BNC, Energia Kutató Intézet [EK]) együttműködve előzetes vizsgálatokat kívánunk folytatni a lézerrel keltett neutronok radiobiológiai felhasználására, továbbá a lézerrel keltett pontszerű betatronforrás anyagtudományi alkalmazásaira (például nukleáris hulladékokat tartalmazó tárolóedényeinek szerkezeti vizsgálatára), valamint a lézeres transzmutátor egyéb elemeinek vizsgálatára, mint például a megfelelő reaktorfal kiválasztására, illetve a sóolvadékon alapuló nukleáris kémiára.

III.1. A projekt megvalósítása

A projekt megvalósítása kisebb részben a Szegedi Tudományegyetem laborjaiban, nagyobb részben a szegedi ELI-ALPS lézeres kutatóközpontban már működő, illetve a jövőben beindítandó berendezések segítségével történik. Az utóbbi intézményben a Szegedi Tudományegyetem és partnerei mint kiemelt, állandó felhasználók végzik majd a kísérleteket, egyúttal hozzájárulva az ELI megvalósításához és továbbfejlesztéséhez, összhangban annak tudományos stratégiájával.

III.2. A projekt fő mérföldkövei

A projekt lezárultával választ kapunk két, az esetleges további folytatás szempontjából meghatározó kérdésre, nevezetesen:

1. Lehetséges-e néhány ciklusú lézerrimpulzussal, nagy hatásokkal annyi neutron előállítani, amennyi a T–M-transzmutátor megvalósítását – legalábbis a neutronforrás oldaláról – lehetővé teszi?
2. Lehetséges-e néhány ciklusú lézerrimpulzussal olyan neutronimpulzusokat előállítani, melyek egyéb tudományos, illetve ipari felhasználásra alkalmasak lehetnek, netán új távlatokat nyithatnak?

A fenti két kérdésre adott válasz magában foglalja egy fontos tudományos-műszaki dilemma eldöntését:

3. Az optimalizált lézeres neutronforrást milyen lézeres bázison érdemes kifejleszteni: kis energiájú, nagy ismétlési frekvenciájú lézereken (~100 mJ, 100 kHz), vagy nagy energiájú, kisebb lövésgyakoriságú (ún. PW-osztályú) lézereken (~100 J, 10 Hz)?

III.3. A projekt lehetséges hatásai, szinergiák

Hosszú távú gazdasági-társadalmi hatás. Amennyiben a III.2. 1. kérdésre „igen” a válasz, úgy az eljárás továbbfejlesztésével valós út nyílik meg a T–M-transzmutátor kifejlesztése felé. Ez azt jelenti, hogy belátható időn belül – ez néhány évtizedet jelent, mivel a transzmutátor tényleges megvalósításához igen komoly technikai problémákat kell még megoldani – lehetővé válhat az eddig felhalmozott és a jövőben még keletkező, használt fűtőelemekből a hosszú élettartamú aktinidák transzmutációval történő kezelése. Ez fontos hozzájárulást jelentene a radioaktív hulladékok jövő generációk számára is elfogadható tárolásának a megoldásához. Ennek a jelentőségét aligha lehetne túlbecsülni, hiszen a nukleáris energetikával kapcsolatos negatív társadalmi attitűd – ami napjainkra olyan irracionális mértéket öltött, hogy olyan politikai döntések születnek, amelyek a szén-dioxid-kibocsátás révén valóban veszélyeztetik az emberiség jövőjét – főleg a nukleáris hulladékok kezelésével kapcsolatos fenntartásokon alapszik.

Ismét hangsúlyozzuk, hogy a transzmutátor kifejlesztése egy szokásos tudományos projekthez viszonyítva hosszú folyamat lesz. Amennyiben a neutronforrás rendelkezésre áll, úgy az első kísérleti, laboratóriumi lézeres transzmutátor akár tíz év múlva elkészülhetne, az ipari méretekben használható lézeres transzmutátor prototípusa huszonöt-harminc év múlva lehet működőképes.

Rövid távú hatások. A III.2. 2. kérdésre elvárásaink szerint igen lesz a válasz. Ez azt jelentheti, hogy néhány (három–öt) év további fejlesztéssel lézeren alapuló, energiahatékony és kis méretű berendezéseket lehet létrehozni. Ezek használhatóak lehetnének például áruszállításnál a rakományok átvilágítására, de akár hozzájárulhatnak a PET-technika szélesebb körű elterjedéséhez vagy újabb radioterápiás módszerek kifejlesztéséhez is.

Tudományos diszciplína kialakulása. Az ultrarövid lézerimpulzusokon alapuló neutronkeltés egyik alapvető sajátossága, hogy mivel az ionsomag időben igen rövid, továbbá a fúzió során keletkezett neutronspektrum meglehetősen monokromatikus, ezért a neutronok által alkotott „impulzus” is várhatóan időben nagyon rövid, legfeljebb néhány pikoszekundum lehet. Ez a jelenleg elérhető, impulzusüzemű neutronforrásoktól (μs) hat nagyságrenddel rövidebb.

Ez az óriási impulzushossz-csökkenés, egyrészt komoly kihívást jelent a neutrondiagnosztikára, hiszen az ilyen rövid neutronimpulzusokra jelenleg nem létezik mérési eljárás. Másrészt, a rövid impulzushossz miatt, figyelembe véve még azt is, hogy a neutronnyaláb viszonylag kollimált, a forrástól néhány cm-re 10^{23} – 10^{24} neutron/($\text{m}^2 \cdot \text{s}$) nagyságrendű fluxus hozható létre. Ilyen viszonyok ma legfeljebb a csillagokban léteznek, így várható, hogy ezekkel a forrásokkal eddig ismeretlen jelenségek válnak a kísérletek számára hozzáférhetővé. Ha kísérletileg bizonyítható ez a hatás, akkor az tízéves távlatban akár egy új diszciplína kialakulását jelentheti.

ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatunkban röviden áttekintettük a ma működő neutronforrások tulajdonságait. Megfogalmaztuk azokat a paramétereket, amelyek a *Tadzsim*a Tosiki és Gerard Mourou által a használt nukleáris fűtőelemekben jelen lévő hosszú felezési idejű transzurán magok transzmutációjára javasolt rendszerhez szükséges neutronforrásnak teljesítenie kell. Bemutattuk, hogy a szimulációk alapján melyek azok a pontok, ahol a jelenleg ismert eljárásokhoz képest a neutronkeltés hatékonyságát várhatóan javítani lehet. Ezek közül különösen kiemelendő Coherent Amplification of Ions by Lasers (CAIL) séma, ami az iongyorsítás hatáskörében egy-másfél nagyságrendű növekedést hozhat. Ehhez kapcsolódóan felvázoltuk annak a magyar kormány által zászlóshajóprojektnek nyilvánított, és három évre 3,5 milliárd forinttal támogatott projektnek a főbb mérföldköveit, amelynek fő

célja a transzmutáció gyakorlati megvalósítására alkalmas neutronforrás kifejlesztése.

Ezen fejlesztések azt jelentik, hogy a lézeres neutronforrás projektben már most egy nagyságrenddel nagyobb másodpercenkénti neutronfluxust tudunk majd várhatóan előállítani, mint a jelenlegi technológiákkal. A már megvalósulás alatt lévő, kW-os átlagteljesítményű lézerfejlesztésekkel ezt a szintet is egy nagyságrenddel meg lehet néhány éven belül haladni (4. ábra), míg a 10 kW-os lézerekkel egy további bő nagyságrendet lehet lépni. Hangsúlyozzuk, hogy mindezt lézeren alapuló deuterongyorsítást és DD-reakciót tételez fel. Egy célberendezésben azonban a trícium körültkéntő használata is lehetséges lehet, amivel egy lézeres neutronforrás által szolgáltatott fluxus egy évtizeden belül a 10^{13} n/s értéket is bőven meghaladhatja. Egy ilyen lézer költsége – az elmúlt évtized trendjét figyelembe véve – mai áron kb. 100 M€ lenne, amely csak tört része egy hasonló neutronfluxus előállítására képes lineáris gyorsítónak.

A rövid és középtávú fejlesztéseket tekintve ugyanakkor nehéz lenne túlbeszélni egy kvázi hordozható, flexibilis, nagy hozamú és rövid impulzusú neutronforrás fejlesztésének tudományos és gazdasági hatásait.

IRODALOM

- Alvarez, J. – Fernandez-Tobias, J. – Mima, K. et al. (2014): Laser Driven Neutron Sources: Characteristics, Applications and Prospects. *Physics Procedia*, 60, 29–38. DOI: 10.1016/j.phpro.2014.11.006, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389214005537>
- Batani, D. – Jafer, R. – Veltcheva, M. et al. (2010): Effects of Laser Prepulses on Laser-induced Proton Generation. *New Journal of Physics*, 12, 045018. DOI: 10.1088/1367-2630/12/4/045018, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/12/4/045018/pdf>
- Esirkepov, T. – Borghesi, M. – Bulanov, S. V. et al. (2004): Highly Efficient Relativistic-Ion Generation in the Laser-Piston Regime. *Physical Review Letters*, 92, 175003. DOI: 10.1103/PhysRevLett.92.175003, <https://arxiv.org/pdf/physics/0405083.pdf>
- Hah, J. – Nees, J. A. – Hammig, M. D. et al. (2018): Characterization of a High Repetition-rate Laser-driven Short-pulsed Neutron Source. *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 60, 054011. DOI: 10.1088/1361-6587/aab327, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6587/aab327/pdf>
- Higginson, D. P. et al. (2011): Production of Neutrons up to 18 MeV in High-intensity, Short-pulse Laser Matter Interactions. *Physics of Plasmas*, 18, 100703. DOI: 10.1063/1.3654040, https://www1.psf.mit.edu/research/hedp/Home%20Page/Papers/Higginson_PoP_2011.pdf
- Hózer Z. (2020): Az atomerőművekben keletkező radioaktív hulladékok jellemzői és kezelésük, *Magyar Tudomány*, 181, 12, 1603–1608. DOI: 10.1556/2065.181.2020.12.4
- Kar, S. et al. (2016): Beamed Neutron Emission Driven by Laser Accelerated Light Ions. *New Journal of Physics*, 18, 053002. DOI: 10.1088/1367-2630/18/5/053002, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/18/5/053002/pdf>
- Kleinschmidt, A. – Bagnoud, V. – Deppert, O. et al. (2018): Intense, Directed Neutron Beams from a Laser-driven Neutron Source at PHELIX, *Physics of Plasmas*, 25, 053101. DOI:

- 10.1063/1.5006613, https://www.researchgate.net/publication/324937235_Intense_directed_neutron_beams_from_a_laser-driven_neutron_source_at_PHELIX
- Lécz Zs. – Budai J. – Andreev, A. et al. (2020): Thickness of Natural Contaminant Layers on Metal Surfaces and Its Effects on Laser-driven Ion Acceleration. *Physics of Plasmas*, 27, 013105. DOI: 10.1063/1.5123542, https://www.researchgate.net/publication/338519950_Thickness_of_natural_contaminant_layers_on_metal_surfaces_and_its_effects_on_laser-driven_ion_acceleration
- Ledingham, K. W. D. – Galster, W. (2010): Laser-driven Particle and Photon Beams and Some Applications. *New Journal of Physics*, 12, 045005. DOI: 10.1088/1367-2630/12/4/045005, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/12/4/045005/pdf>
- Macchi, A. (2017): A Review of Laser-Plasma Ion Acceleration. https://kopernio.com/viewer?doi=arXiv%3A1712.06443&token=WzIyODkxMjIsImFyWG12OjE3MTIuMDY0NDMiXQ_C_Brr6nQ_RZimxlEFzhzDIYhhto
- Maksimchuk, A. et al. (2013): Dominant Deuteron Acceleration with a High-intensity Laser for Isotope Production and Neutron Generation. *Applied Physics Letters*, 102, 19117. DOI: 10.1063/1.4807143, https://www.researchgate.net/publication/236953853_Dominant_deuteron_acceleration_with_a_high-intensity_laser_for_isotope_production_and_neutron_generation
- Necas, A. – Tajima, T. – Mourou, G. et al. (2020): Unification of the Radiation Pressure Acceleration and the Coherent Acceleration of Ions by Laser. Megjelenés alatt: *Physical Review Accelerators and Beams*
- Neely, D. – Foster, P. – Robinson, A. et al. (2006): Enhanced Proton Beams from Ultrathin Targets Driven by High Contrast Laser Pulses. *Applied Physics Letters*, 89, 021502. DOI: 10.1063/1.2220011, <https://portal.research.lu.se/ws/files/2880205/2425827.pdf>
- Norreys, P. A. et al. (1998): Neutron Production from Picosecond Laser Irradiation of Deuterated Targets at Intensities of 10^{19} W/cm². *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 40, 175–182. DOI: 10.1088/0741-3335/40/2/001, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0741-3335/40/2/001/pdf>
- Prencipe, I. et al. (2017): Targets for High Repetition Rate Laser Facilities: Needs, Challenges and Perspectives. *High Power Laser Science and Engineering*, 5, e17. DOI: 10.1017/hpl.2017.18, <https://bit.ly/2GUUEW4>
- Pretzler, G. – Saemann, A. – Pukhov, A. et al. (1998): Neutron Production by 200 mJ Ultrashort Laser Pulses. *Physical Review E*, 58, 1165. DOI: 10.1103/PhysRevE.58.1165, [https://portal.research.lu.se/portal/en/publications/neutron-production-by-200-mj-ultrashort-laser-pulses\(6b-23b3cd-7790-4598-816b-0583e6b9a888\).html](https://portal.research.lu.se/portal/en/publications/neutron-production-by-200-mj-ultrashort-laser-pulses(6b-23b3cd-7790-4598-816b-0583e6b9a888).html)
- Roth, M. et al. (2002): Energetic Ions Generated by Laser Pulses: A Detailed Study on Target Properties. *Physical Review Special Topics – Accelerators and Beams*, 5, 061301. DOI: 10.1103/PhysRevSTAB.5.061301, <https://journals.aps.org/prab/pdf/10.1103/PhysRevSTAB.5.061301>
- Roth, M. – Jung, D. – Falk, K. et al. (2013): Bright Laser-Driven Neutron Source Based on the Relativistic Transparency of Solids. *Physical Review Letters*, 110, 044802. DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.044802, <https://www.semanticscholar.org/paper/Bright-laser-driven-neutron-source-based-on-the-of-Roth-Jung/6124454061aca272ce64528d4229a0a5fc5807ee>
- Scullion, C. – Doria, D. – Romagnani, L. et al. (2017): Polarization Dependence of Bulk Ion Acceleration from Ultrathin Foils Irradiated by High-Intensity Ultrashort Laser Pulses. *Physical Review Letters*, 119, 054801. DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.054801, <https://bit.ly/3lwQOBe>
- Steinke, S. – Henig, A. – Schnürer, M. et al. (2010): Efficient Ion Acceleration by Collective Laser-driven Electron Dynamics with Ultra-thin Foil Targets. *Laser and Particle Beams*, 28, 215–221. DOI: 10.1017/S0263034610000157, https://kopernio.com/viewer?doi=10.1017%2Fs0263034610000157&token=WzIyODkxMjIsImFyWjEwLjEwMTcvczAyNjMwMzQ2MTAwMDAxNTciXQ_BV_PchXKf4TjIRSRb8ETMmTgDIA

- Szieberth M. (2020): A transzmutáció mint a nukleáris hulladékok kezelésének egy lehetséges útja. *Magyar Tudomány*, 181, 12, 1609–1620. DOI: 10.1556/2065.181.2020.12.5
- Ter-Avetisyan, S. – Schnürer, M. – Hilscher, D. et al. (2005): Fusion Neutron Yield from a Laser-irradiated Heavy-water Spray. *Physics of Plasmas*, 12, 012702. DOI: 10.1063/1.1815001, https://www.researchgate.net/publication/40829077_Fusion_neutron_yield_from_a_laser_irradiated_heavy_water_spray
- Toth, Sz. – Stanislauskas, T. – Balciunas, I. et al. (2020): SYLOS Lasers – The Frontier of Few-cycle, Multi-TW, kHz Lasers for Ultrafast Applications at Extreme Light Infrastructure Attosecond Light Pulse Source. *Journal of Physics Photonics*, 2, 4, 045003. DOI: 10.1088/2515-7647/ab9fe1, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7647/ab9fe1>
- Zulick, C. et al. (2013): Energetic Neutron Beams Generated from Femtosecond Laser Plasma Interactions. *Applied Physics Letters*, 102, 124101. DOI: 10.1063/1.4795723, https://www.researchgate.net/publication/255702191_Energetic_neutron_beams_generated_from_femtosecond_laser_plasma_interactions

AZ ATOMERŐMŰVEKBEN KELETKEZŐ RADIOAKTÍV HULLADÉKOK JELLEMZŐI ÉS KEZELÉSÜK

RADIOACTIVE WASTES OF NUCLEAR POWER PLANTS AND THEIR HANDLING

Hózer Zoltán

az MTA doktora, Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest
hozer.zoltan@energia.mta.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Az atomerőművekben sokféle radioaktív izotóp keletkezik, amelyeket különböző módon kell kezelni. A hűtőközegben megjelenő aktivációs és korróziós termékek egy része az erőmű normál üzemelése során eltávolítható, ezzel a hűtővíz aktivitáskoncentrációját alacsony szinten lehet tartani. A folyékony radioaktív hulladékokat besűrítik, és szilárd csomagokat állítanak elő a végleges elhelyezéshez. Az erőmű szerkezeti elemeinek felületén megjelenő radioaktív szennyeződések dekontaminációs eljárásokkal lehet eltávolítani. A szerkezeti elemekben megjelenő radioaktív izotópokkal az erőmű leszereléskor is számolni kell. A legtöbb radioaktív izotóp a fűtőelemekben keletkezik. A végleges elhelyezés és a kiegészítő üzemanyag újrahasznosítása szempontjából kiemelt jelentőségű a nagyon hosszú felezési idejű és magas radiotoxicitású transzurán elemek kezelése, amelyre jelenleg nem áll rendelkezésre ipari méretekben alkalmazható technológiai eljárás.

ABSTRACT

The nuclear power plants produce large variety of radionuclides, the handling of which needs different technologies. The activation and corrosion products can be removed from the primary coolant and so the activity concentration can be kept at low level. The volume of liquid radioactive wastes can be reduced and solidified for final disposal. The radioactive deposits from the surface of primary circuit can be removed by decontamination. The activity of the NPP components must be taken during the decommissioning works. Most of the radionuclides are produced inside of the fuel elements. The long lived and highly radiotoxic transuranic elements have high importance from the point of view of reprocessing and final disposal. Today there is no technology for their handling at industrial scale.

Kulcsszavak: atomerőmű, radioaktív izotópok, transzurán elemek

Keywords: nuclear power plant, radioactive isotopes, transuranic elements

BEVEZETÉS

Az atomerőművekben olyan magreakciók mennek végbe, amelyek eredményeként szükségszerűen radioaktív izotópok is képződnek. Ezek többsége a maghasadás helyén az üzemanyag-tablettákban keletkezik, de radioaktív izotópok megjelennek a hűtőközegben és a reaktor és a primerkör szerkezeti elemeiben is. Nagyon sokféle izotópról van szó, amelyek különböző kémiai és fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezért a környezetre gyakorolt hatásuk is nagyon különböző, és az atomerőművön belül vagy azon kívül történő kezelésük is sokféle technológiai megoldást igényel.

RADIOAKTÍV IZOTÓPOK A HŰTŐVÍZBEN

Az atomreaktorban lejátszódó láncreakció során felszabaduló hőenergiát az aktív zónán átáramló hűtővíz veszi át. A hűtővíz aktivitásának domináns részét a ^{16}N izotóp adja, amely a víz oxigénjéből keletkezik neutronbefogással a $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$ reakció során. A nagyon rövid (7,1 másodperces) felezési idejű ^{16}N izotóp gyakorlatilag nem jut ki a környezetbe a gyors bomlás miatt. Az erőművön belül kezelést nem igényel, de hatásával számolni kell az erőműben dolgozók várható sugárvédelmi terhelésének becslésekor. A primerköri hűtőközeg optimális vízkémiai paramétereinek beállításához különböző vegyszereket adagolnak a hűtővízbe. Ezek az adalékok, illetve a bennük található szennyeződések felaktiválódásával több radioaktív izotóp is keletkezik (^{24}Na , ^{42}K , ^{38}Cl). A hűtővízben megjelennek korróziós termékek is, amelyek között egyaránt megtalálhatóak azok a radioaktív izotópok, amelyek az acélkomponensekből (^{51}Cr , ^{55}Fe , ^{59}Fe , ^{54}Mn , ^{56}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co) és az üzemanyag-kazetták cirkóniumötvözetből készült részegységeiből származnak (^{95}Zr , ^{97}Zr , ^{95}Nb , ^{97}Nb). Ha az aktív zónában van szivárgó fűtőelem, vagy a kazetták felületén hasadóanyag szennyezés található, akkor a hűtőközegben a hasadási termékek és a transzurán elemek izotópjai is kimutathatóak különböző mérési módszerekkel.

Az atomerőmű normál üzemelése során a hűtőközeg aktivitáskoncentrációját a megengedett korlátokon belül kell tartani. Ehhez több eszköz is rendelkezésre áll: ioncserélők, szűrők és gáztalanítók. Az erőműben keletkező folyékony radioaktív hulladékokat többféle műszaki eljárás alkalmazásával készítik elő a végleges elhelyezésre. Ezeknek az eljárásoknak (például: bepárlás, lecsapatás, szűrés, extrakció, ionscere) alapvető célja a térfogatcsökkentés, ami természetesen az aktivitáskoncentrációk növelését eredményezi. A paksi atomerőmű jelenleg működő blokkjain alkalmazott technológia lehetővé teszi a radioaktív izotópok jelentős részét adó kobalt- és céziumionok eltávolítását és a hulladék bórsavtartalmának visszanyerését is (Feil et al., 2014). A cseppfolyós halmazállapotú radioaktív hulladékok kezelésének utolsó fázisában cementezéssel vagy bitumenezéssel olyan csomagokat állítanak elő, amelyek alkalmasak a végleges elhelyezésre.

A SZERKEZETI ELEMEK AKTIVITÁSA

Az atomreaktor és a primerkör szerkezeti elemeiben, illetve azok felületén jelentős aktivitás jelenik meg az erőmű sokéves üzemelése során. Ennek a folyamatnak két fő összetevője van:

- A reaktortartály és a reaktor belső szerkezeti elemei közvetlen sugárzásnak vannak kitéve. A neutronsugárzás hatására egyrészt kristályszerkezeti változások mennek végbe az acél- és cirkóniumkomponensekben: rácshibák, vakanciák, diszlokációs hurkok jönnek létre, amelyek hatására megváltoznak az anyagok mechanikai tulajdonságai (Groma et al., 2018). A sugárkárosodás hatásával számolni kell a reaktortartály integritásának értékelésekor is (Trampus, 2003). A nagy energiájú neutronok és az atommagok kölcsönhatása során új izotópok is képződhetnek a szerkezeti elemekben, és ezek egy része radioaktív.
- A hűtőközegben megjelennek korróziós termékek, amelyek a hűtővízzel együtt keringenek a primerkörben. Az aktív zónán áthaladva a vízben oldott izotópok egy részéből új, részben radioaktív izotópok jöhetnek létre. A vízben oldott radioaktív korróziós termékek eljutnak a primerkör reaktortól távoli részébe is, ahol a szerkezeti elemeken (például a gőzfejlesztő csövein) lerakódhatnak. Így nemcsak a reaktor, hanem a primerköri komponensek felülete is felaktiválódik az üzemelés során.

Az atomerőmű biztonságos karbantartása megköveteli, hogy minimalizálják a különböző műveletek során a személyzet által elszenvedett dózist. Ezért azokat a felületeket, ahol jelentős radioaktív szennyeződés jött létre, és ahol a munkavégzésre kerül sor, meg kell tisztítani. A dekontaminálási eljárások alkalmazásával jelentősen csökkenthető a személyzet sugárterhelése (Varga et al., 2010).

A különböző szerkezeti elemek aktivitásának csökkentésére az erőmű leszerelésekor is szükség lesz a végleges elhelyezéssel szemben támasztott követelményeknek megfelelően.

Az említett reaktortartályon és gőzfejlesztőn túl természetesen számos kisebb szerkezeti elem (például szivattyúk, tartályok, ioncserélők, meghajtók) radioaktív szennyeződéseit is kezelni kell az átmeneti tároláshoz és a végleges elhelyezéshez.

A KIÉGETT ÜZEMANYAG ÖSSZETÉTELE ÉS KEZELÉSE

A reaktorban töltött idő alatt az üzemanyag összetétele jelentősen megváltozik (Hózer, 2016). A paksi atomerőműben használt friss üzemanyag urán-dioxid-tablettákból áll, amelyben a hasadóképes ^{235}U izotóp jellemző dúsítása 4-5%. A maghasadások többségében két különböző tömegszámú hasadvány és 2-3 neutron keletkezik. A hasadványokból radioaktív bomlással a hasadási termékek széles

spektruma jön létre. Egyes elemek (például Nd, Ce, Eu) oldódnak a mátrixban, és elfoglalják az elhasadt uránatom helyét. A xenon- és kriptonatomok nemesgáz buborékokat hoznak létre az üzemanyag szemcsén belül, majd a szemcsék között is. A Ba-, Sr- és Zr-oxidok zárványokat képeznek, azaz lekötik az urán-dioxidból – az urán elhasadása után – szabaddá vált oxigénatomokat. A nemesfémek (Ru, Pd, Tc, Rh) pedig fémes zárványokat képeznek, amelyek önállóan jelennek meg az üzemanyag szemcsékben vagy azok felületén.

Az üzemanyagban található ^{238}U izotópból neutronbefogással transzurán elemek jönnek létre (Fehér, 2007). A Np, Pu, Am és Cm izotópjainak jelentős része nagyon hosszú felezési idejű, és sok közöttük az alfa-sugárzó. Ezért radiotoxicitásuk (potenciális egészségkárosító hatásuk) nagyon magas, főleg ha azzal számolunk, hogy beléggzéssel az emberi szervezetbe jutnak. A feldolgozás nélküli kiégett üzemanyag radiotoxicitása több százezer év alatt csökken a természetes urán szintjére. Ha az üzemanyagból sikerül eltávolítani a transzurán elemeket, akkor a természetes urán radiotoxicitási szintjének elérése már ezer éven belül megtörténik (Szieberth, 2016). A felsorolt transzurán elemek közül a Pu keletkezik legnagyobb mennyiségben a kiégés során. A ^{239}Pu és a ^{241}Pu izotópok a jelenleg működő atomerőművek termikus neutronspektrumában is hasadóképesek. Az eredeti ^{238}U tartalom kb. 3-4%-ából keletkezik ^{239}Pu , és ennek a mennyiségnek a fele el is hasad a reaktorban töltött idő alatt. A másodlagos aktinidák (Np, Am és Cm) izotópjainak többsége is hasadóképes, de csak gyorsreaktorokban (Szieberth, 2016; Gadó, 2016).

Az atomreaktorból eltávolított nukleáris üzemanyag speciális tárolást igényel (Nős, 2016). A kiégett fűtőelemekben található radioaktív izotópok erősen sugároznak, és bomlásuk során számottevő hő keletkezik. A kiégett kazettákat először pihentetőmedencékben helyezik el, ahol a hűtővíz keringtetésével oldják meg a hőelvitelt. A magas vízszint és a vastag betonfalak biztosítják a sugárvédelmi árnyékolást. A pihentetőmedencékben garantálni kell a szubkritikus állapotot is, mivel a kiégett kazettákban jelentős mennyiségű hasadóképes urán és plutónium marad. A többéves nedves tárolás során a maradványhő a kazettákban lecsökken, és át lehet szállítani őket a száraztárolókba, ahol már a léghűtés is elegendő a keletkező hő elviteléhez.

Az átmeneti tárolás után a kiégett üzemanyagot vagy feldolgozzák (reprocesszálják), vagy feldolgozás nélkül végleges elhelyezésre kerül mélygeológiai tárolókban.

A végleges elhelyezéshez meg kell várni, hogy a kazetták teljesítménye olyan alacsony szintre csökkenjen, amely nem vezet az üzemanyag felmelegedéséhez a geológiai tárolóban. A kazettákat eredeti állapotukban speciális konténerekben helyezik el. Így megmarad az első két védelmi gát, amit az üzemanyag-tabletta és a fűtőelem burkolata alkot. További mesterséges (konténer, tömedékelés) és természetes (geológiai rétegek) védelmi gátak is akadályozzák a radioaktív izotópok kijutását a bioszférába (Nős, 2016).

A kiegészített üzemanyag feldolgozását elsősorban az motiválja, hogy hasadóanyagot lehet kinyerni a kiegészített fűtőelemekből, és azzal új üzemanyagot lehet gyártani az atomerőművek számára (Hózer, 2016). Ez nagyon fontos lenne az atomerőművek működéséhez, ha nem állna rendelkezésre elegendő természetes urán az üzemanyaghoz. Az elmúlt évtizedek kutatásai azonban azt mutatták, hogy a természetes urántartalékok még hosszú ideig ki tudják elégíteni a több mint négyszáz működő atomerőművi blokk igényeit (NEA/IAEA, 2019). A kiegészített üzemanyag ciklikus reprocesszálása gyorsreaktoros atomerőművek működése esetén jelent optimális megoldást (Gadó, 2016), de jelenleg csak néhány ilyen blokk működik az egész világon.

A kiegészített üzemanyag feldolgozására meglehetősen bonyolult vegyipari és pirometallurgiai módszereket dolgoztak ki. A legelterjedtebb a Plutonium and Uranium Recovery by Extraction (PUREX) eljárás, amelynek lényege, hogy az üzemanyagot először forró salétromsavban feloldják, majd tributil-foszfát hozzáadásával elkülönítik az uránt és a plutóniumot. A reprocesszáló üzem létesítése hatalmas beruházást igényel, ezért csak néhány működik az egész világon (például Franciaországban és Oroszországban). Reprocesszáló üzem nem érdemes minden országban létesíteni, főleg nem minden atomerőmű vagy átmeneti tároló mellett, hanem inkább nemzetközi együttműködések keretében célszerű megoldani a feldolgozást.

A másodlagos aktinidák transzmutációja egy elméletileg lehetséges megoldás a kiegészített üzemanyag radiotoxicitásának csökkentésére (Szieberth, 2020). Ehhez azonban mindenképpen fel kell dolgozni a kiegészített fűtőelemeket, hiszen a transzmutációs berendezéssel nem lehet a kiegészített üzemanyagot közvetlenül kezelni. A transzmutációs berendezésben előállított, megfelelő energiájú neutronok nemcsak a transzurán elemeket képesek elhasítani, hanem más magreakciókra is képesek, amelyek eredményeként újabb radioaktív izotópok jöhetnek létre. Ezért a berendezésbe nagy tisztaságú céltárgyakat kell elhelyezni, a transzmutációval kezelhető anyagok elválasztására, kondicionálására laboratóriumi léptékben történtek vizsgálatok, de az ipari méretű alkalmazás még nagyon messze van. Ha a reprocesszálási igények lecsökkennek, mert az atomerőművek nem igénylik a kiegészített üzemanyagból származó plutóniumot, akkor a kiegészített üzemanyag feldolgozásának költségei jelentősen meg fogják haladni a mélygeológiai tároló létesítésének költségeit (MIT, 2011). Ilyen körülmények között a kiegészített üzemanyag reprocesszálása gazdasági szempontból kérdéses lesz.

A transzmutáció gyakorlati megvalósításához számos műszaki problémát meg kell oldani. Ezek közül az egyik az optimális neutronforrás létrehozása (Szieberth, 2020; Osvay–Szabó, 2020), de ez önmagában nem elegendő ahhoz, hogy a kiegészített üzemanyag radiotoxicitását csökkenteni lehessen.

KÖVETKEZTETÉSEK

Az atomerőművekben keletkező radioaktív anyagok kezelésére kiforrott technológiai eljárások léteznek. Ezek alkalmazása lehetővé teszi, hogy a radioaktív izotópokat tartalmazó hulladékok ne jelentsenek veszélyt se a környezetre, se az atomerőműben dolgozóakra. A kiégett üzemanyag végleges elhelyezésének előkészítésére további kutatások folynak, amelyek egyik fontos célja az, hogy a mélygeológiai tárolóban elhelyezett üzemanyag radiotoxicitása minél rövidebb idő alatt csökkenjen le a természetes urán radiotoxicitásának szintjére. Ebben a tekintetben a legfontosabb kihívást a transzurán elemek semlegesítése jelenti, amire több technológiai fejlesztés is folyamatban van különböző laboratóriumokban.

IRODALOM

- Fehér S. (2007): Radioaktív hulladékok transzmutációja. *Magyar Tudomány*, 1, 36–39. <http://www.matud.iif.hu/07jan/09.html>
- Feil, F. – Elter, E.– Otterbein, J. et al. (2014): Folyékony radioaktív hulladékok térfogatcsökkentése az MVM Paksi Atomerőműben. *Nukleon*, VII, 167, https://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/7_3_167_Feil.pdf
- Gadó J. (2016): Gyorsreaktorok az üzemanyagciklusban. *Magyar Tudomány*, 5, 552–559. <http://www.matud.iif.hu/2016/05/06.htm>
- Groma I. – Szenthe I. – Ribárik G. et al. (2018): Atomreaktorokban használható cirkónium-ötvezetek mikroszerkezetének meghatározása röntgenvonalprofil-analízissel. *Fizikai Szemle*, LXVIII, 420–425. <http://fizikaiszemle.hu/szemle/tartalom/44>
- Hózer Z. (2016): A kiégett üzemanyag jellemzői és feldolgozása. *Magyar Tudomány*, 5, 534–540. <http://www.matud.iif.hu/2016/05/04.htm>
- MIT (2011): *The Future of the Nuclear Fuel Cycle*. An Interdisciplinary MIT Study. <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2011/04/MITEI-The-Future-of-the-Nuclear-Fuel-Cycle.pdf>
- NEA/IAEA (2019): *Uranium 2018: Resources, Production and Demand*. Paris: OECD Publishing, DOI: 10.1787/uranium-2018-en
- Nős B. (2016): A kiégett üzemanyag kezelésének nemzeti programja, *Magyar Tudomány*, 5, 527–533. <http://www.matud.iif.hu/2016/05/03.htm>
- Osvay K. – Szabó G. (2020): Lézeres neutronforrás fejlesztése. *Magyar Tudomány*, 181, 12, 1586–1602. DOI: 10.1556/2065.181.2020.12.3
- Szieberth M. (2016): A nukleáris üzemanyag-ciklus zárásának lehetőségei. *Magyar Tudomány*, 5, 541–551. <http://www.matud.iif.hu/2016/05/05.htm>
- Szieberth M. (2020): A transzmutáció mint a nukleáris hulladékok kezelésének egy lehetséges útja. *Magyar Tudomány*, 181, 12, 1609–1620. DOI: 10.1556/2065.181.2020.12.5
- Trampus P. (2003): A reaktortartály szerkezeti integritása. *Magyar Tudomány*, 11, 1425–1436. <http://www.matud.iif.hu/03nov/010.html>
- Varga K. – Horváthné Deák E. – Nagyné Szabó A. et al. (2010): Atomerőművi kémiai dekontaminációs technológia fejlesztése. *Nukleon*, 3(3)70, 1–6. https://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_3_3_70_Varga.pdf

A TRANZMUTÁCIÓ MINT A NUKLEÁRIS HULLADÉKOK KEZELÉSÉNEK EGY LEHETSÉGES ÚTJA

TRANSMUTATION AS A POTENTIAL WAY OF NUCLEAR WASTE MANAGEMENT

Szieberth Máté

PhD, egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézet, Budapest
szieberth@reak.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk áttekinti a transzmutációs technológiát, szakmai háttérét és egy lézeres neutronforrás felhasználási lehetőségeit ezen a területen. A transzmutáció elsődleges célkitűzése, hogy a kiégett nukleáris üzemanyagban található másodlagos aktinidákat hasadás révén rövidebb felezési idejű hasadási termékekké alakítsa. Nem váltja ki a mély geológiai tárolót, viszont az abban elhelyezett radioaktív hulladék hosszú távú kockázatait jelentősen csökkenti. Megvalósításához a nukleárisüzemanyag-ciklus zárására és gyorsreaktorokra, vagy esetleg gyorsítóval hajtott szubkritikus rendszerekre van szükség. Utóbbi technológia fontos eleme a spallációs neutronforrás, amely esetleg lézeres neutronforrással is kiváltható, amennyiben sikerül elérni a szükséges intenzitást. Ugyanakkor a lézeres neutronforrások terén elért áttöréstől még nem várható, hogy közelebb hozza a transzmutáció megvalósítását.

ABSTRACT

The paper provides an overview of the transmutation technology, its technical background and the potential use of laser-based neutron sources in this field. The primary objective of transmutation is to transform minor actinides in spent nuclear fuel into shorter half-lived fission products through nuclear fission. It does not replace deep geological disposal but can significantly reduce the long term risks of radioactive wastes disposed in the latter. Its implementation requires the closure of the nuclear fuel cycle and the application of fast reactors or maybe accelerator driven subcritical systems. A crucial element of the latter is the high intensity neutron source, which is currently assumed to be spallation source but may be replaced by laser-based neutron source in case the required intensity is successfully achieved. On the other hand, a breakthrough concerning laser-based neutron sources is not yet expected to bring closer the realisation of transmutation.

Kulcsszavak: atomenergia, radioaktív hulladékok, nukleárisüzemanyag-ciklus, transzmutáció, gyorsítóval hajtott szubkritikus rendszerek, lézeres neutronforrás

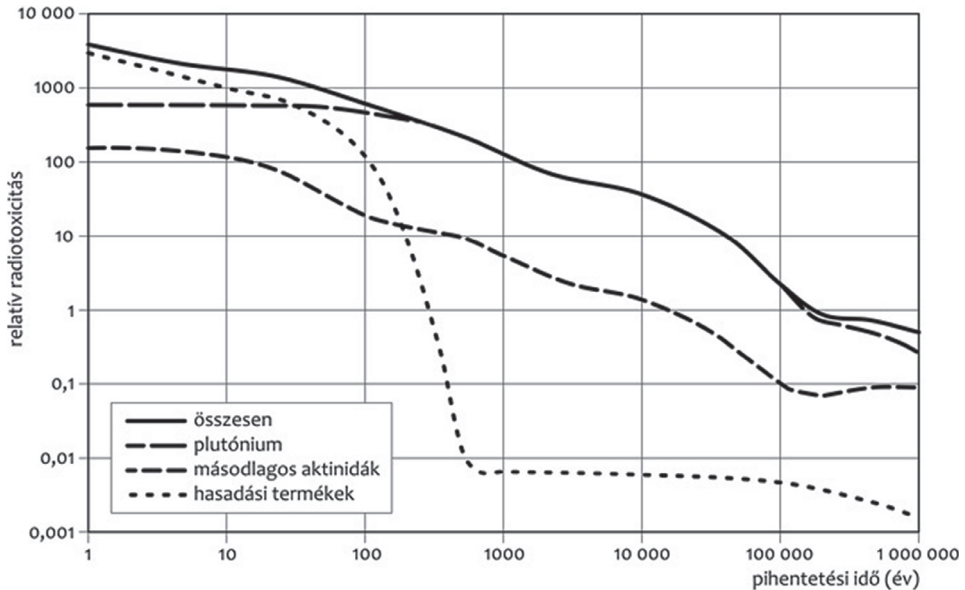
Keywords: nuclear power, radioactive wastes, nuclear fuel cycle, transmutation, accelerator driven subcritical systems, laser-based neutron source

A *Magyar Tudomány* egy korábbi számában cikksorozat foglalkozott a kiégett fűtőelemek és radioaktív hulladékok kezelésével és elhelyezésével. Ennek keretében bemutatásra került a vonatkozó nemzeti program (Nős, 2016), a kiégett üzemanyag jellemzői és feldolgozási lehetőségei (Hózer, 2016), valamint a nukleárisüzemanyag-ciklus zárásának lehetőségei (Szieberth, 2016). Utóbbi cikk a transzmutációval is foglalkozott, mivel azonban a szegedi ELI-ALPS lézeres neutronforrás projektje (Osvay–Szabó, 2020) kapcsán a téma az érdeklődés homlokterébe került, ebben a cikkben részletesebben tekintjük át ezt a technológiát és szélesebb szakmai hátterét.

A TRANSZMUTÁCIÓ ALAPJAI

A transzmutáció a középkori alkímiából eredő fogalom, amelyen elemek egymásba alakítását értették. A modern tudomány a magreakciók felfedezésével adott új értelmet a fogalomnak, és a protonszám változásával járó reakciókra használja, hiszen ilyenkor az anyagban egy másik elem izotópja jelenik meg. Így transzmutációnak nevezzük az anyag sugárkárosodásának egyik formáját is, amikor például acélban besugárzás hatására kobaltizotópok jelennek meg, megváltoztatva a rácsszerkezetet. Jelen esetben a nukleáris hulladékok kezelésével kapcsolatban a transzmutáció alatt a hosszú felezési idejű izotópok rövid felezési idejűvé vagy stabillá alakítását értjük. A nukleáris hulladékok transzmutációjának alapgon dolata nem új ötlet, szinte egyidős az atomenergetikával (Fehér, 2007). Már az 1940-es években felvetődött a gondolat, hogy a gyorsítótechnológia hasznos lehet az atomenergetika hulladékainak kezelésében. A neutron-magreakciókat felhasználó transzmutációval kapcsolatos első publikáció 1958-ban jelent meg.

A transzmutációval kapcsolatban először azt fontos rögzíteni, hogy az atomerőművekben keletkező radioaktív hulladékok (Hózer, 2020) közül csak a kiégett üzemanyag esetén merül fel az alkalmazása. A kiégett üzemanyagban található anyagok radiotoxicitásának az 1. ábrán látható hosszú távú alakulását vizsgálva megállapíthatjuk, hogy az több mint százezer év alatt csökkenne a felhasznált természetes urán szintjére, és ezért elsősorban a plutóniumizotópok (Pu) felelősek. Mivel a plutóniumizotópok jelentős arányban hasadóképesek, az üzemanyagciklus zárása esetén a kiégett üzemanyag feldolgozása után reaktorokban hasznosíthatók és hasadási termékekkel alakíthatók. Amennyiben ez megvalósul, akkor a hulladékban az ún. másodlagos aktinidák (neptúnium-, amerícium- és kúriumizotópok) határozzák meg a hosszú távú kockázatokat, ami tízezer éves léptékben csökken a fenti referenciaszintre. A másodlagos aktinidákat is eltávolítva a hulladéksomagból, a hasadási termékek maradnak hátra, melyek jellemzően rövidebb felezési idejének köszönhetően már ezer éven belül a kívánt szintre csökkenhet a radiotoxicitás.



1. ábra. A kiégett üzemanyag kitermelt uránhoz viszonyított relatív radiotoxicitásának időbeli alakulása

Ezekből a megállapításokból fakad a transzmutáció elsődleges célkitűzése, vagyis hogy a másodlagos aktinidákat hasadás révén rövidebb felezési idejű hasadási termékekké alakítsuk. Fontos megjegyezni azonban, hogy a fenti radiotoxicitás-alapú megközelítés nem veszi figyelembe a konkrét hulladékformát, a végleges elhelyezés körülményeit, valamint az egyes izotópok mobilitását a tároló műszaki határain és a környező kőzeten keresztül. A végleges elhelyezésre szolgáló mélységi geológiai tároló méretezése és biztonsági elemzése során ezekkel számolni kell, és kritériumként a potenciálisan érintett lakosságra vonatkozó dóziskorlátot kell alkalmazni. Werner von Lensa és munkatársai (2008) tanulmányukban részletesen vizsgálták több ország tervezett tárolókonceptióját, és az egyik legfontosabb megállapításuk, hogy valamennyi képes garantálni a radioaktív hulladékok biztonságos elszigetelését akár a kiégett üzemanyag közvetlen elhelyezése esetén is. A bőven a határértékek alatt maradó lakossági dózisekhez pedig elsősorban néhány hosszú felezési idejű hasadási termék (például ^{129}I) járult hozzá jelentős mértékben, míg az aktinidaiszotópok a befoglaló kőzetekben gyakorlatilag immobilisnak tekinthetők. Ennek megfelelően azzal kapcsolatban egyértelmű nemzetközi szakmai konszenzus áll fenn, hogy mélységi geológiai tárolóra mindenképp szükség van, és azok mérnöki és természetes gátjait elsősorban a mobilis hasadási termékek alapján kell méretezni. Ugyanakkor azt is megállapították, hogy a tárolóba történő emberi behatolás esetén a transzmutációs scenárió előnyei

egyértelműek, és a potenciális kockázatok valóban a fenti radiotoxicitási görbékhez hasonlóan alakulnak. Míg a természeti folyamatokból fakadó kockázatok műszaki-tudományos eszközökkel jól felmérhetők, addig a jövőbeni emberi viselkedésre – hogy ki, mikor, milyen célból és milyen technológiával hatol be a tárolóba akár szándékosan, akár véletlenül – ebben az időtávlatban nem tudunk ilyen becsléseket adni, ezért a transzmutációból fakadó előnyök mérlegelése végző soron társadalmi-filozófiai kérdéssé válik.

A transzmutáció objektíven meghatározható előnyei közé tartozik viszont a hulladék térfogatának és hőtermelésének jelentős csökkentése, amely a közvetlen elhelyezéshez képest akár tizedére csökkentheti a szükséges geológiai tároló térfogatát, és ezáltal jelentős költségmegtakarítást is eredményez. Ezt a megtakarítást viszont a szükséges kutatás-fejlesztés, a többletberuházások és a drágább, összetettebb technológia üzemeltetése ellensúlyozhatja. Az eljárás gazdaságosságának elemzése részletesen kidolgozott koncepciók és a teljes üzemanyagciklus figyelembevételével lehetséges, ezért ma még csak nagy bizonytalansággal terheltelemzések állnak rendelkezésre.

A fentiek alapján a hasadási termékek transzmutációja is szóba jöhetne, de az alacsony hatáskeresztmetszetek miatt ez nem tűnik reálisnak. A másodlagos aktinidák transzmutációjára viszont lehetőséget ad, hogy nagy neutronenergiákon (kb. 1 MeV fölött) minden másodlagosaktinida-izotóp hasadóképes, vagyis a neutronelnyelés hatáskeresztmetszetét meghaladja a hasadás hatáskeresztmetszete (Szieberth, 2016). Ez azért fontos, mert a neutronelnyelés viszont más aktinida-izotópok létrejöttéhez vezet, amelyek mind hosszú bomlási láncok alapját képezik, így a hosszú távú kockázatok lényegében nem változnak.

TRANSZMUTÁCIÓS REAKTOROK ÉS ÜZEMANYAGCIKLUS

Ennek megfelelően a transzmutáció gyorsneutron-spektrumban lehetséges, vagyis olyan reaktorokban, amelyekben nincsenek a neutronok lassítását szolgáló kis tömegszámú anyagok. A legnagyobb kihívást az okozza, hogy ez egyben a legkézenfekvőbb hűtőközeg, a víz használatát is kizárja, ezért a gyorsreaktorok folyékonyfém- (nátrium, ólom vagy ólom-bizmut eutektikum) vagy (a kis sűrűséget kihasználva) gázhűtésűek. A nátriumhűtésű gyorsreaktor demonstrált technológiának tekinthető kb. 400 reaktorév üzemeltetési tapasztalattal, bár jelenleg csak Indiában, Kínában és Oroszországban üzemel összesen négy ilyen reaktor. Az ólom- és a gázhűtésű gyorsreaktor két alternatív technológia, amelyek fejlesztését az Európai Unió is támogatja (Gadó, 2016). Franciaországban 2009-ben állították le a *Phénix* kísérleti gyorsreaktort, amelyben korábban laboratóriumi szinten demonstrálták a másodlagos aktinidák transzmutációját is amerícium- és neptúniumtartalmú speciális üzemanyagpálcákban. Egy korábbi *Magyar Tudomány*

cikk (Szieberth, 2016) bemutatta, hogy egy gázhűtésű gyorsreaktorral lehetséges olyan üzemanyagciklust kialakítani, amely a reprocesszási veszteségeken túl nem termel aktinidahulladékot, végleges elhelyezésre gyakorlatilag csak hasadási termékek kerülnek. Ez érvényes a többi gyorsreakortípusra is, sőt, egy gyorsreaktor több termikus reaktor kiegészített üzemanyagának aktinidatartalmát is képes hasznosítani és átalakítani (Halász–Szieberth, 2020).

A transzmutáció megvalósításához azonban nem elegendő a megfelelő neutronspektrumú reaktor, ugyanilyen fontos a kiegészített üzemanyag kémiai feldolgozása oly módon, hogy az urán- és plutóniumfrakciók mellett a másodlagos aktinidákat is szeparálják a hasadási termékektől (Hózer, 2020). Ezeknek a feldolgozási eljárásoknak a fejlesztése még zajlik, többet is demonstráltak már laboratóriumi szinten, de ipari léptékben még egy sem működik. A kémiai szétválasztás alapvető fontosságát jelzi, hogy a nemzetközi szakirodalom általában szétválasztási és transzmutációs (partitioning and transmutation, P&T) technológiát említ. A szétválasztás után másodlagosaktinida-tartalmú üzemanyagot kell gyártani, amely szintén komoly technológiai kihívás a nagy aktivitás miatt. Az üzemanyaggyártás problémáját látszólag megkerülik a sóolvadékos reaktorkoncepciók, ahol fluorid alapú olvadt sóban feloldva kering az üzemanyag a primer körben, miközben csak az aktív zónát alkotó megfelelő térfogatú tartályban áll fenn kritikusság. A koncepció előnye a homogén üzemanyag, a folyamatos betáplálás és kémiai feldolgozás lehetősége, de a megvalósításban a korróziós problémák, az olvadt só kémiai kontrollja számtalan nehézséget tartogat. Ezért az 1960-as években az Egyesült Államokban három éven át üzemelő 10 MW-os kísérleti reaktoron (Király, 2012) túl ilyen berendezés még nem épült, bár több koncepcióval kapcsolatban zajlanak kutatások, mint például az orosz MOSART (Ignatiev et al., 2014) és a francia MSFR (Yamaji–Aszódi, 2014) koncepciók.

A másodlagosaktinida-tartalmú üzemanyaggal kapcsolatos nehézségek ihlették az ún. „kétrétegű” (double strata) üzemanyagciklus koncepcióját. Itt szétválasztják az üzemanyagciklusnak azt a rétegét, ahol csak a plutónium visszaforgatása történik meg, és azt a második réteget, ahova a szétválasztás után az előző rétegből a másodlagos aktinidák is visszaforgatásra kerülnek. Így erre a második rétegre lehet korlátozni a másodlagos aktinidákat kezelő, bonyolultabb és kockázatosabb technológiákat, míg az első réteg a hagyományos ipari gyakorlatnak megfelelően tud működni. Mivel a másodlagos aktinidák mennyisége kb. egy nagyságrenddel kisebb a plutóniuménál, a második rétegnek kevesebb berendezést kell tartalmaznia. Különösen akkor, ha olyan reaktorokat alkalmazunk, amelyekbe nagy mennyiségben lehet másodlagos aktinidákat tölteni. Az önfenntartó láncreakción alapuló kritikus reaktorok esetében ez azonban reaktorfizikai akadályokba ütközik, mivel fontos paramétereiket (későneutron-hányad, Doppler-együttható) kedvezőtlen irányba változtatja a magas másodlagosaktinida-koncentráció, és nehezíti a szabályozásukat. Ezért kb. 5%-nál magasabb koncentráció valószínűleg nem engedhető meg.

A GYORSÍTÓVAL HATOTT SZUBKRITIKUS RENDSZEREK (ADS)

A kétrétegű üzemanyagciklusban juthatnak szerephez viszont az ún. gyorsítóval hajtott szubkritikus rendszerek (accelerator driven system, ADS). Ez a koncepció azon alapszik, hogy ha egy szubkritikus reaktorzónába egy neutronforrásból neutronokat juttatunk, akkor önfenntartó láncreakció ugyan nem indul el, de a forrásneutronokat hasadások révén megsokszorozva a reaktor a forrás intenzitásával arányos teljesítményen fog működni. Megfelelően intenzív neutronforrás esetén az energetikai reaktorokhoz hasonló teljesítmény érhető el. Ilyen neutronforrások lehetősége a nagy intenzitású spallációs források megjelenésével jött el (Mezei, 2020). A spalláció során nagy energiájú (kb. 1 GeV) proton csapódik nehézfém (például wolfram) céltárgyba, és magreakciók kaszkádja során nagy számú (50–55) neutron keletkezik. A transzmutáció szempontjából a koncepció előnye, hogy a szubkritikusság miatt, valamint mivel a teljesítménye a gyorsító nyalábáramán keresztül szabályozható, nem befolyásolja a magas másodlagosaktinida-koncentráció, az akár több tíz százalék is lehet. Ezért számítások szerint, míg egy kritikus gyorsreaktor 2–4 kg/TWh, egy ADS akár 35 kg/TWh másodlagos aktinida elhasítására lehet képes.

Az ADS-fejlesztések az 1990-es években kaptak lendületet a gyorsítótechnológia fejlődésével, azonban a mai napig sem épült még az elvárt paramétereknek megfelelő gyorsító, vagyis amely folytonos üzemmódban 1 GeV-os protonok 10 mA körüli áramát tudná biztosítani. További megoldandó kérdés a nyalábvezető ablakának, valamint a céltárgynak a kialakítása és hűtése a fellépő extrém terhelésnek megfelelően. A reaktor zónája a megfelelően nagy energiájú neutronspektrum kialakítása érdekében hasonló kialakítású lesz, mint egy gyorsreaktoré. Fontos reaktorfizikai probléma azonban a zóna szubkritikusságának monitorozása, mivel a kritikus reaktoroknál megszokott módszerek nem alkalmazhatók.

A világ több országában folynak ma is fejlesztések ADS-koncepciókkal kapcsolatban. Legelőrehaladottabb állapotban a belgiumi MYRRHA (Multipurpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications) (Abderrahim–De Bruyn, 2019) kísérleti reaktor van, amelynek a tervezése már 1998-ban elkezdődött a belgiumi SCK-CEN kutatóintézetben. A jelenlegi tervek szerint a berendezés egy 600 MeV-os lineáris protongyorsítót tartalmaz majd, amely 3,5 mA-es protonnyalábot ló a reaktor közepén elhelyezett spallációs céltárgyba, kb. 10^{17} neutron termelve másodpercenként. A 0,95-ös effektív sokszorozási tényezőjű szubkritikus zóna nukleáris teljesítménye így 70 MW lenne. A spallációs céltárgy és a zóna hűtőközege is ólom-bizmut eutektikum. Ennek előnye viszonylag alacsony olvadáspontja (125 °C). Az üzemanyag kb. 30%-os Pu-tartalmú oxidkeverék (mixed oxide, MOX). A MYRRHA tehát nem transzmutációs berendezés lesz, ezen a területen legfeljebb laboratóriumi kísérleteket fognak végezni. Ugyanakkor a MYRRHA egyszerre lehet az ólom-bizmut-hűtésű gyorsreaktor és az ADS technológiai demonstrációja.

A befejezés első céldátuma 2012 volt, de technológiai nehézségek és költségvetési problémák miatt többször átütemezték a projektet. 2018-ban háromfázisú megvalósítás mellett döntöttek: az első fázisban egy 100 MeV-os 4 mA-es gyorsítófokozat készül el, melynek több alternatív felhasználását is tervezik (izotópgyártás és magfúziós anyagtudományi kutatások). Ennek a megvalósítása meg is kezdődött, és 2026-ra tervezik a befejezését. A második fázisban a 600 MeV-os gyorsítófokozatot építenék meg, amellyel teljessé válna a 400 m hosszú lineáris gyorsító. Ennek befejezését 2033-ra tervezik. A reaktor a harmadik fázisban készülne el, amely a másodikkal párhuzamosan indulna, és 2036-ra fejeződne be. A teljes költségvetést 1,6 milliárd euróra becslik, amelyből 480 millió, mintegy 30% esik az első két fázisra, vagyis a gyorsító megépítésére. Jól látható, hogy bármilyen komplikált is a gyorsítótechnológia, a beruházás költségvetésének 70%-át még mindig a reaktor megépítése teszi ki. Valószínűsíthető, hogy ezek az arányok a későbbi, nagyobb teljesítményű, transzmutációs célra szánt ADS-eknél is fennállnak majd, ezért önmagában a neutronforrás terén elért költségcsökkentésnek csak kisebb hatása lehetne az egész beruházási költségre.

A TRANZMUTÁCIÓ MEGVALÓSÍTHATÓSÁGA NEMZETKÖZI SZINTEN ÉS MAGYARORSZÁGON

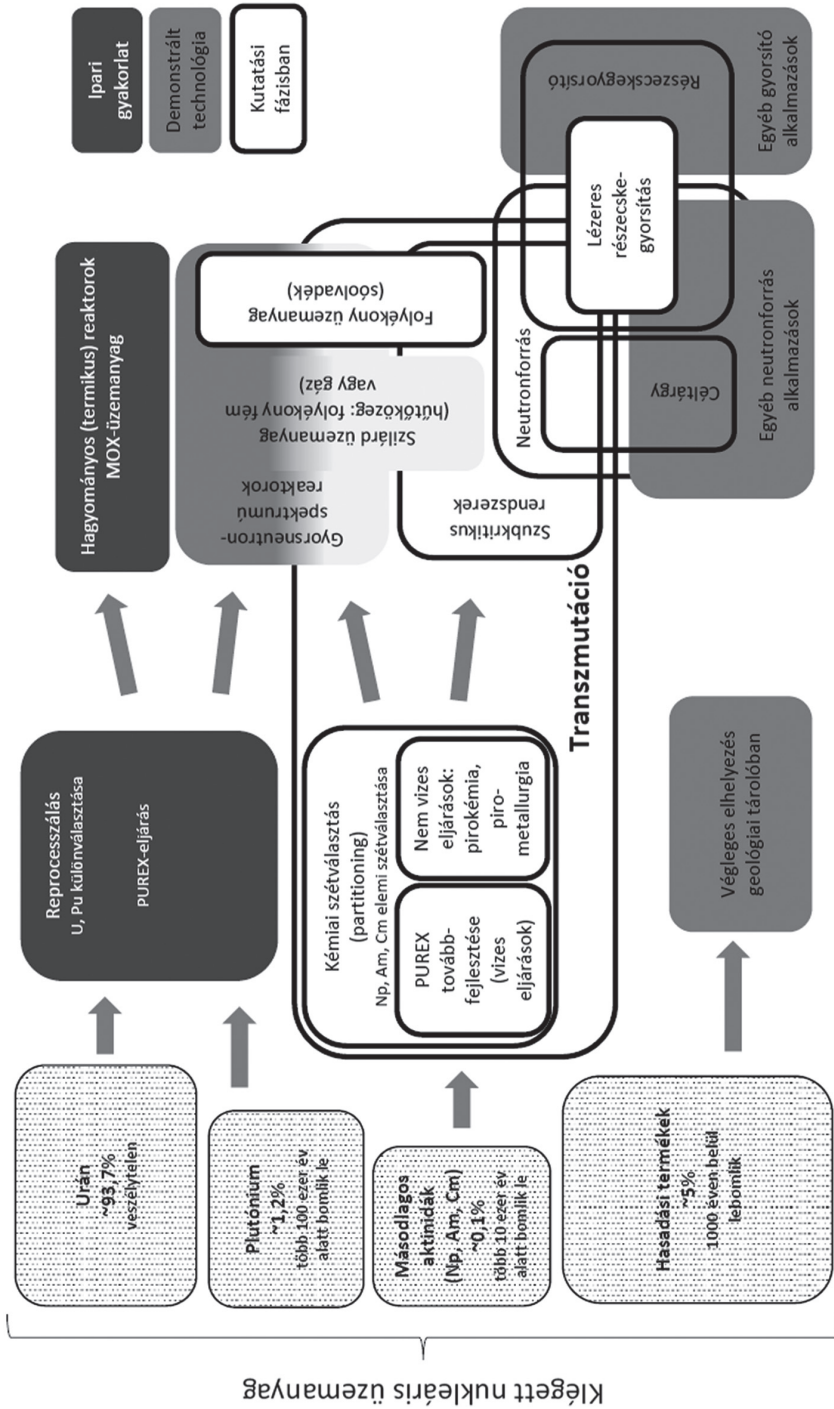
Ahogy láttuk, a transzmutáció egy összetett technológia, amely nem egy berendezés építésével valósul meg, hanem az egész nukleárisüzemanyag-ciklus átszervezésével. Ez magában foglalja a kiegészített üzemanyag kémiai újrafeldolgozásának ipari léptékű megvalósítását, másodlagosaktinida-tartalmú üzemanyagok gyártását és végül transzmutációs reaktorok vagy ADS-ek építését. Azt is láthattuk, hogy a hosszú távú kockázatokért elsősorban a Pu-izotópok felelősek, tehát a másodlagos aktinidák visszaforgatását akkor érdemes megvalósítani, ha már megvalósult a zárt üzemanyagciklus, vagyis a Pu visszaforgatása és hasznosítása. Mindez olyan léptékű beruházásokat igényel, amely észszerűen csak nemzetközi összefogásban valósulhat meg. Ez elsősorban akkor várható, ha a következő évtizedekben bekövetkezik az atomenergetika klímavédelmi okokból szükséges bővülése, és az urán iránti növekvő igény áremelkedést és így a Pu-alapú üzemanyagok versenyképessé válását eredményezi. Mivel a zárt üzemanyagciklus feltételezi gyorsreaktorok működését is, ezért valószínű, hogy transzmutáció is gyorsreaktorokban valósul meg először. Amennyiben azonban sikerül az ADS-technológiát megvalósítani, akkor az is szerepet kaphat, kihasználva a kétrétegű üzemanyagciklus előnyeit.

Ugyanakkor a kiegészített üzemanyag itthon keletkező mennyiségére nem lehet gazdaságosan újrafeldolgozó üzemet alapozni, ezt Magyarországnak csak külföldön elvégzett szolgáltatásként lehet érdemes megvásárolnia. Ugyanígy, egy transzmutációs reaktor üzemeltetése is legalább széles körű regionális együttmű-

ködést igényelne a beruházás léptéke miatt. Magyarországon a radioaktív hulladékok és a kiégett atomerőművi üzemanyagok kezelésével kapcsolatban 2015-ben az Országgyűlés nemzeti politikát (21/2015. (V. 4.) OGY határozat) fogadott el, amelyre alapozva a kormány 2016-ban nemzeti programot (Nős, 2016) dolgozott ki. Ezek a magas szintű dokumentumok figyelembe veszik a nukleárisüzemanyag-ciklus zárását, így a transzmutáció lehetséges megvalósulását is, ugyanakkor – a nemzetközi tudományos konszenzusnak megfelelően – rögzítik, hogy a kiégett nukleáris üzemanyag kezelési módjától függetlenül mélységi geológiai tároló kialakítására van szükség. Ennek megfelelően a telephely kiválasztását célzó kutatási program ma is zajlik, miközben a végleges elhelyezésre kerülő hulladék összetételét és formáját legkésőbb a tároló kialakításának tervezéséig kell meghatározni, amelyre a telephely kiválasztását követően, évtizedek múlva kerülhet sor. Ez a legtöbb ország által követett ún. „do and see” politika, vagyis amikor folyamatosan lépéseket teszünk a radioaktív hulladékok végleges elhelyezése felé, de döntési pontokat iktatunk be, ahol a technológiai fejlődés alapján mérlegelni lehet a továbbhaladás legkedvezőbb útját. A döntési pontig rendelkezésre álló több évtizedes időszakban fontos, hogy a hazai nukleáris kutatóintézetek továbbra is aktívan és sikeresen kapcsolódjanak be a transzmutációval kapcsolatos megalapozott nemzetközi kutatási programokba, hogy a helyzetértékeléshez és döntéshez szükséges információ és kompetencia folyamatosan rendelkezésre álljon.

A LÉZERES NEUTRONFORRÁS SZEREPE A TRANSZMUTÁCIÓBAN

A 2. ábrán sematikusan láthatók a kiégett üzemanyag egyes komponenseinek kezelésére alkalmazható technológiák, köztük a transzmutáció. Az urán és a plutónium termikus reaktorokban történő újrahasznosítása ipari gyakorlatnak tekinthető. A Pu hasznosítása gyorsreaktorokban szintén demonstrált, bár csak kevés ilyen reaktor működik. A transzmutáció megvalósításához elengedhetetlen, hogy a ma még csak laboratóriumi szinten létező technológiák ipari léptékben megvalósuljanak. Ha ez megtörténik, akkor kritikus reaktorok mellett ADS-ekben is elképzelhető a transzmutáció. Míg a szilárd üzemanyagú gyorsreaktorokban történő transzmutáció szinte minden eleme demonstrált, addig a sóoldékos reaktorok és az ADS-ek még fejlesztés alatt állnak. Utóbbiaknál kritikus pont a megfelelő intenzitású (10^{17} s^{-1} nagyságrendű) neutronforrás, amelyhez részecskegyorsító és megfelelő céltárgy is szükséges. Ezen a területen jelenthet komoly előrelépést a lézeres neutronforrás, amennyiben azoknál olcsóbban vagy megbízhatóbban képes produkálni a megfelelő intenzitást. Ugyanakkor azt is láttuk, hogy az ADS költségében a neutronforrás csak kisebb részt tesz ki. A lézeres neutronforrás tehát önmagában nem fogja közelebb hozni a transzmutáció megvalósulását, de egyik lehetséges útjának fejlesztéséhez komoly hozzájárulást nyújthat.



2. ábra. A kiegtett üzemanyag kezelésére alkalmas technológiák és a lézeres neutronforrás kapcsolata

Emellett természetesen még számos rövidebb távon megvalósítható alkalmazása lehet. Fontos azt is rögzíteni, hogy mélységi geológiai tárolóra legalább a hasadási termékek és reprocesszási hulladékok elhelyezéséhez bármelyik forgatókönyv esetén szükség lesz.

A TADZSIMA (TAJIMA)–MOUROU TRANZMUTÁCIÓS KONCEPCIÓ

A lézeres neutronforrás fejlesztését bemutató cikkben (Osvay–Szabó, 2020) említett Gerard Mourou és Tadzsima Tosiki (Toshiki Tajima) által javasolt transzmütációs berendezésről hivatalosan publikált leírás egyelőre nem érhető el. A szerzők azonban több alkalommal tartottak Magyarországon előadást, és Tadzsima Tosikit, valamint munkatársait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézetébe is meghívtuk, hogy bemutassák koncepciójukat. Az itt megismert adatok általában összhangban voltak a *TAE Technologies* honlapján megtalálható folyóiratcikk-kéziratban foglaltakkal (Tajima et al., 2019). A sóolvadék üzemanyagból fakadó egyszerű, homogén geometriának köszönhetően ezek alapján már összeállítható egy modell előzetes reaktorfizikai elemzésekhez.

A koncepció szerint egy sóolvadékos szubkritikus reaktort hajt egy lézeres neutronforrás. Az aktív zóna 50 cm-es átmérőjű és 2 m magasságú henger 30 cm-es grafitreflektorral körbevéve. A só LiF-BeF_2 keverék, amelyhez 1 mol%-ban (az oldhatósági határ alatt) transzurán elemek fluoridjait adjuk. A lézeres neutronforrást pontszerű 14 MeV-os energiájú forrásként modelleztük a zóna közepén, mivel ez az optimális pozíció, ahol a legnagyobb neutronfluxust biztosítja. A transzuránok összetételét a paksi reaktorok kiegészített üzemanyagának átlagos Pu-, illetve másodlagosaktinida-összetétele alapján határoztuk meg, a Pu és a másodlagos aktinidák arányát úgy állítva be, hogy mindig 0,98-as effektív sokszorozási tényezőt kapjunk. Folytonos üzemanyag-betöltést és a keletkező hasadási termékek folytonos kémiai eltávolítását tételeztük fel. A számításokat a széleskörűen használt SERPENT Monte-Carlo-neutrontranszportkód és az NTI-ben fejlesztett JOSETTE üzemanyagciklus-szimulációs kód (Halász–Szieberth, 2020) összekapcsolásával végeztük.

Eredményeink szerint a feltételezett 100 MW-os termikus teljesítmény eléréséhez 2×10^{17} 1/s-os neutronforrás-intenzításra van szükség. Kezdetben egy év alatt 10 kg másodlagos aktinidát lehet betáplálni a rendszerbe, ez a mennyiség azonban évről évre folyamatosan csökken, és kb. tizenöt év után már termelésbe fordul át. Ennek oka, hogy a reaktor kis mérete miatt már kezdetben is a teljes transzurán tartalom 74%-át teszi ki a Pu mennyisége, ami a hasadóképes Pu-izotópok fogyásával 88%-ig növekszik, hogy a megfelelő neutronsokszorozás biztosítható legyen. A problémához a sóolvadékban található könnyű elemeknek (Be

és Li), valamint a grafitreflektornak köszönhetően a gyorsreaktorokénál sokkal termalizáltabb neutronspektrum is hozzájárul. Az eddig megismert adatok alapján tehát a koncepció reaktorfizikai szempontból nem tűnik megalapozottnak, és a kitűzött transzmutációs célokat nem éri el. A reaktorfizikai problémák a zóna méretének jelentős növelésével és más paraméterek optimalizálásával valószínűleg megoldhatók, hiszen több részletesen kidolgozott sóolvadékos reaktor (mint az említett MOSART- és MSFR-koncepciók) esetében is sikerült számításokkal igazolni, hogy az a másodlagos aktinidák folyamatos nettó fogyasztására (elhasítására) képes. Ugyanakkor a sóolvadékos reaktorok megvalósításával kapcsolatos termohidraulikai, anyagtudományi, kémiai és nukleáris biztonsági kihívások továbbra is fennállnak. Mivel ezekkel kapcsolatban az eddig megismert koncepció nem tartalmaz értékelhető részleteket, annak megvalósíthatóságáról és főleg a megvalósítás időskálájáról még nem lehet érdemi megállapítást tenni.

ÖSSZEGRZÉS

A transzmutációs technológia célja a másodlagos aktinidák elhasítása a végleges elhelyezésre kerülő nukleáris hulladék hosszú távú radiotoxicitásának csökkentése érdekében. Valamennyi aktinidaizotóp eltávolítása után a hulladék radiotoxicitása ezer éven belül a felhasznált természetes urán szintjére csökkenhet, de ebben az esetben is szükség van mélységi geológiai elhelyezésre, különös tekintettel a hulladékban maradó hosszú felezési idejű hasadási termékekre. A transzmutáció megvalósításának alapfeltétele a kiegészített üzemanyag kémiai szétválasztásának ipari léptékű megvalósítása, és másodlagos aktinidákat tartalmazó üzemanyag gyártása. Ez a nukleárisüzemanyag-ciklus átszervezését igényli, és olyan léptékű beruházást igényel, amely csak hosszabb távon, nemzetközi együttműködésben képzelhető el. A másodlagos aktinidák transzmutációját kritikus gyorsreaktorokban és ADS-ekben is meg lehet valósítani. Utóbbi technológia fontos eleme a spallációs neutronforrás, amely esetleg lézeres neutronforrással is kiváltható, amennyiben sikerül elérni a szükséges intenzitást. Ugyanakkor a lézeres neutronforrások terén elért áttöréstől még nem várható, hogy közelebb hozza a transzmutáció megvalósítását.

IRODALOM

- Abderrahim, H. A. – De Bruyn, D. et al. (2019): MYRRHA Accelerator Driven System Programme: Recent Progress and Perspectives. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*, 2019 – #02, Nuclear Power Engineering (Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika), n°2, June 2019, 29–41. <https://doi.org/10.26583/npe.2019.2.03>
- Csom Gy. (1988): *Atomenergia-rendszerek nukleáris üzemanyagciklusának továbbfejlesztési lehetőségei*. Budapest: Akadémiai Kiadó

- Fehér S. (2007): Radioaktív hulladékok transzmutációja. *Magyar Tudomány*, 167, 1, 36–39. <http://www.matud.iif.hu/07jan/09.html>
- Forschungszentrum Julien GmbH (2008): *Red Impact*. Forschungszentrum Julien GmbH, https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/117/39117966.pdf
- Gadó J. (2016): Gyorsreaktorok az üzemanyagciklusban. *Magyar Tudomány*, 177, 5, 552–559. <http://www.matud.iif.hu/2016/05/06.htm>
- Halász M. – Szieberth M. (2020): Negyedik generációs reaktorokat tartalmazó üzemanyagciklusok vizsgálata. *Nukleon*, XIII, 1, 230. <https://nuklearis.hu/nukleon/negyedik-generacios-reaktorokat-tartalmazo-uzemanyagciklusok-vizsgalata>
- Hózer Z. (2016): A kiégett üzemanyag jellemzői és feldolgozása, *Magyar Tudomány*, 177, 5, 534–540. <http://www.matud.iif.hu/2016/05/04.htm>
- Hózer Z. (2020): Az atomerőművekben keletkező radioaktív hulladékok jellemzői és kezelésük, *Magyar Tudomány*, 181, 12, 1603–1608. DOI: 10.1556/2065.181.2020.12.4
- Ignatiev, V. – Feynberg, O. et al. (2014): Molten Salt Actinide Recycler and Transforming System without and with Th–U Support: Fuel Cycle Flexibility and Key Material Properties. *Annals of Nuclear Energy*, 64, 408–420. DOI: 10.1016/j.anucene.2013.09.004, <https://bit.ly/3iC9oGj>
- Király M. (2012): Egy részben elfelejtett technológia nyomában. *Nukleon*, V, 3, 114. <https://nuklearis.hu/nukleon/egy-reszben-elfelejtett-technologia-nyomaban>
- Lensa, W. von – Nabbi, R. – Rossbach, M. (2008): *RED-IMPACT. Impact of Partitioning, Transmutation and Waste Reduction Technologies on the Final Nuclear Waste Disposal*. Synthesis Report, Forschungszentrum Jülich
- Mezei F. (2020): Fejlődő perspektívák a neutronnyalábok széleskörű használatában. *Fizikai Szemle*, 1, http://fizikaiszemle.hu/uploads/2020/02/fizszem-202001-mezeife-renc_13_26_58_1581683218.8289.pdf
- Nős B. (2016): A kiégett üzemanyag kezelésének nemzeti programja. *Magyar Tudomány*, 177, 5, 527–533. <http://www.matud.iif.hu/2016/05/03.htm>
- Osvay K. – Szabó G. (2020): Lézeres neutronforrás fejlesztése, *Magyar Tudomány*, 181, 12, 1586–1602. DOI: 10.1556/2065.181.2020.12.3
- Szieberth M. (2016): A nukleáris nukleárisüzemanyag-ciklus zárásának lehetőségei. *Magyar Tudomány*, 177, 5, 541–551. <http://www.matud.iif.hu/2016/05/05.htm>
- Tajima, T. – Necas, A. – Mourou, G. et al. (2019): *Fusion Driven Liquid-phase Transmutator Monitored and Controlled Realtime by CAN Laser*. TAE Technologies, <https://tae.com/can-laser-driven-liquid-phase-transmutator-monitored-realtime-by-fiber-laser/>
- Yamaji, B. – Aszódi A. (2014): Sóolvadékos reaktorkonceptió kísérleti vizsgálata. *Nukleon*, VII, 2, 161. <https://nuklearis.hu/nukleon/soolvadekos-reaktorkonceptio-kiserleti-vizsgalata>

Tanulmányok

A POPULIZMUS ÁRA: A BREXIT-ADÓ PRICE OF POPULISM: THE BREXIT TAX

Halmi Péter

az MTA levelező tagja, egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest,
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Halmi.Peter@uni-nke.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Az EU elhagyásáról szóló döntés megnövekedett politikai szuverenitást, de egyidejűleg rendkívül jelentős gazdasági költségeket (dezintegrációs damnumot, „Brexit-adót”) eredményez. A Brexitet elsősorban azok a szavazók támogatták, akik magukra hagyottnak érezhették magukat képzettségük, koruk, gazdasági helyzetük vagy értékeik és a szociális változások iránya közötti feszültség miatt. Szélesebb értelemben a társadalmi és gazdasági kizártság alakult át a Brexit támogatásává. A globalizáció és az integráció elleni populista lázadás éppen azoknak okozza a legnagyobb kárt, akik e megállíthatatlan folyamatokat a legerősebben korlátoznák. Az egyoldalú és valótlan információkon, a választók demagóg és manipulatív befolyásolásán, a racionalitás elvetésén nyugvó populizmus, az igazságon túli politika térhódítása nagy kihívás a demokrácia, egyúttal az európai nemzeteket egyesítő európai integráció számára is. A populizmusnak súlyos ára van. A tudomány felelőssége, hogy a társadalom számára a társadalmi és gazdasági alapkérdések tekintetében pontos és kiegyensúlyozott információkat, racionális magyarázatot nyújtson. Valamennyi EU-tagállamban alapvető jelentőségű, hogy a társadalom helytálló információkat kapjon az integráció tényleges és potenciális hatásairól.

ABSTRACT

The decision of leaving the EU increases political sovereignty, however at the same time it comes with significant economic costs (disintegration damnum, 'Brexit tax'). The Brexit was mainly supported by those voters who were feeling abandoned because of their qualification, age, economic situation or their values and also because of the tension of the direction of social changes. More broadly the social and the economic deprivation turned into supporting Brexit. The populist movement against globalization and integration causes the worst damage for those who want to control these unstoppable processes. Populism that is based on one-sided, untrue information, demagogue manipulation of voters and rejection of rationality and the expansion of post truth politics is a huge challenge for democracy and also for European integration that unites European nations. Populism has a heavy price. It is the responsibility of science

to give punctual, steady and rational explanation for the society about the fundamental social and economic issues. It is crucial for the society to get relevant information about the real and potential effects of the integration in all of the EU member states.

Kulcsszavak: európai integráció, termelékenység, belső piac, kemény Brexit, WTO, „sziklaszirt” dezintegráció, dezintegrációs veszteség (damnum), globalizáció, populizmus, igazságon túli politika

Keywords: European integration, productivity, internal market, hard Brexit, WTO, 'cliff edge' disintegration, disintegration damnum, globalisation, populism, post-true politics

Több mint hatvan évvel a Római Szerződés aláírása után az Európai Unió (EU) súlyos kihívásokkal szembesül: a globális válság hatásaival, keleti és déli határain geopolitikai instabilitással, valamint Európa-ellenes politikai erőkkel egyes tagállamokban stb. E kihívásokhoz adódik hozzá a Brexit. Az alábbiakban egyrészt a brit EU-tagság néhány gazdasági jellemzője, majd a kilépés nyomán lehetséges politikai opciók rövid áttekintésére kerül sor. Előbbieket követően a Brexit tömör politikai gazdaságtani elemzése következik: mi lehetett a szavazók motivációja, előbbieknek milyen jövőbeli következményei lehetnek, végül: mit is jelent a Brexit szélesebb értelmezési keretben.

1. A BRIT EU-TAGSÁG ELŐNYEI

Az EU-tagság lényeges mértékben hozzájárult az Egyesült Királyság gazdasági prosperitásához. A brit tagság (1973) óta az egy főre jutó GDP megduplázódott. Jobban nőtt, mint az EU-n kívüli angolszász államokban, beleértve az Egyesült Államokat (lásd *1. táblázat*). A korlátok nélküli integráció a világ legnagyobb piacába az előbbiek alapvető tényezője. A versenyző piacokkal rendelkező kisebb országok számára az előnyök még nagyobbak lehetnek. (Például az ugyancsak 1973-ban csatlakozott Írország csaknem megnégyszerezte egy főre jutó GDP-jét.)

Az európai csatlakozás után jelentős mértékben nőtt az egy főre jutó brit GDP. Különösképpen a termelékenység növekedése volt szembetűnő, aminek fő oka a megnövekedett termékpiaci verseny volt. A csökkenő kereskedelmi akadályok mérsékeltek a hazai vállalatok piaci erejét. A vállalatok válaszként nagyobb beruházások révén és más módokon növelték termelékenységüket.

A sokpólusú világban az Egyesült Királyság *gazdaságilag erősebb volt EU-tagként*. Az Egyesült Királyság globális befolyása és alkuereje más európai gazdaságokkal együttesen erősebbnek bizonyult (*1. ábra*). A legutóbbi évekig az EU28 képviselte a világ GDP és a kereskedelem legnagyobb hányadát. Az

Egyesült Államok és Kína szorosan követték. Az Egyesült Királyság kiválásával azonban az EU részesedése már kisebb, mint az Egyesült Államoké a GDP, illetve mint Kínáé az árukereskedelem tekintetében. Az Egyesült Királyság részesedése a világ GDP-ben Kanada és Ausztrália együttes teljesítményével hasonlítható össze. Az EU részesedése a világ népességében és területében viszonylag kicsi. Az Egyesült Királyság pedig e mutatókban a világ 1%-át sem éri el.

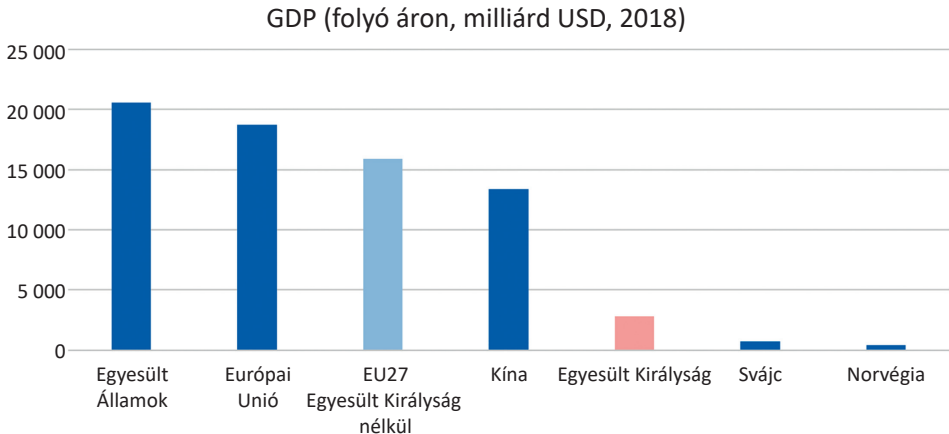
1. táblázat. Növekedési ütemek a nagy recesszió előtt (évi átlag %-ban)

	Reál GDP/fő	Reál GDP/munkaóra
1950–1973		
Franciaország	4,02	5,29
Németország	5,00	5,91
Egyesült Királyság	2,42	2,81
Egyesült Államok	2,45	2,57
1973–1995		
Franciaország	1,65	2,67
Németország	1,76	2,86
Egyesült Királyság	1,76	2,40
Egyesült Államok	1,81	1,27
1995–2007		
Franciaország	1,75	1,75
Németország	1,56	1,70
Egyesült Királyság	2,55	2,17
Egyesült Államok	2,16	2,21

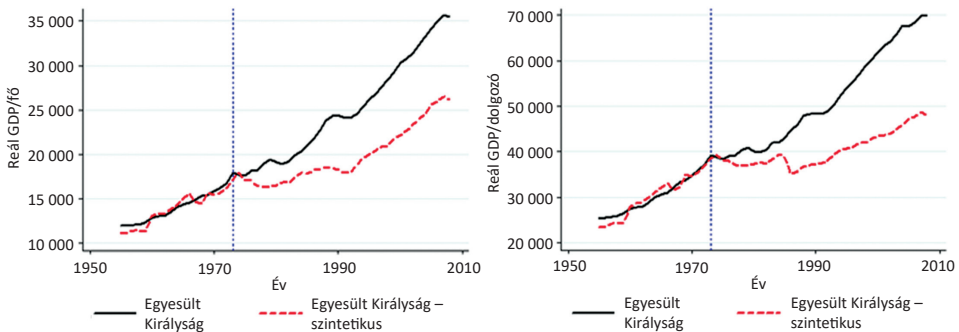
(Crafts, 2016)

Az EU-tagság előnyei az Egyesült Királyság esetében különösen *három fő hatásmechanizmus* révén érvényesültek: a kereskedelem, a külföldi közvetlentőke-bebefektetés (FDI) és a pénzügyi ágazat területén. Pusztán az EU-ba irányuló brit export, illetve az onnan származó import középpontba állítása alábecsüli a Brexit valódi költségeit.

Nauro F. Campos és Fabrizio Coricelli (2015) elemzése szerint az Egyesült Királyságban az egy főre jutó GDP fejlődésében 1970 körül pozitív irányú strukturális törés történt, amelyben az EU-tagság lényeges szerepet játszott (lásd 2. ábra). A brit csatlakozás fő célja relatív gazdasági hanyatlásának a megállítása volt.



1. ábra. Bruttó hazai termék egyes világgazdasági szereplők esetében (folyó áron, milliárd USD, 2018)
(Forrás: IMF)



2. ábra. Az Egyesült Királyság EU-tagságból származó előnyei (Campos–Coricelli, 2015)

Az eredményes kínálati oldali reformok és a gazdasági integráció együttes hatásai eredményeképpen egyes recessziós évek kivételével az Egyesült Királyságban 1983–2006 között 2,5–3,3% volt az évi potenciális növekedési ütem. E dinamika döntő tényezője a termelékenység növekedése volt: évi 2,2–2,9%-os ütemben.

Ugyanakkor a bemutatott irányzatok a nagy recesszió (2008–2009) időszakától kezdődően megtörték. Valójában a legutóbbi több mint egy évtizedben már a

brit termelékenységi paradoxonra kell választ találni (Ketels–Porter, 2018). Kedvező strukturális sajátosságok, egyidejűleg – a legutóbbi évtizedben – *de facto* stagnáló termelékenység jellemzik a brit gazdaságot. A versenyképesség alapvető gyengeségei az infrastruktúra minőségében, a képzettségi hiányosságokban, az alacsony innovációs kiadásokban és a regionális egyenlőtlenségekben, a nagyrészt egy helyre (London) összpontosuló klaszterekben rejlenek.

2. AZ EGYESÜLT KIRÁLYSÁG POLITIKAI OPCÍÓI

Az Egyesült Királyság globális gazdaságban betöltött pozíciója szorosan kapcsolódik fekvéséhez. Az Egyesült Királyság sokat nyert az Európai Unió termék-, szolgáltatási, beruházási és munkapiaci szimultán integrációjából. Ha elveszíti belső piaci hozzáférést, lokációs előnyeinek csökkenésére és a nemzetközi érték-láncban történő részvétele mérséklődésére kell számítani. A beruházások és a további működőtőke-beáramlás lassulása várható. Nagyon valószínűtlen, hogy az EU-n kívüli piacok megfelelő mértékben helyettesíthetnék a belső piacot. Következésképpen *nincsenek alternatív, a belső piac elhagyása gazdasági veszteségeit ellensúlyozó kereskedelmi opciók*.

A Brexit negatív hatásai csökkentése érdekében az Egyesült Királyságnak a kereskedelmi integráció, azon belül a vámmentes kereskedelem fenntartására kellene törekednie az EU-val. Egyidejűleg el kellene kerülni a nem vámjellegű akadályok növekedését, különösen a szolgáltatások területén. A globális érték-láncban részt vevő, jelentős mennyiségű importált *input*ot felhasználó vállalatok esetében a származási szabályok betartása nagyon költséges. A Brexit során nem vámjellegű akadályok keletkeznek. Mindez csökkentheti az Egyesült Királyság vonzerejét termelési helyszíneként.

Az *Európai Gazdasági Térség* (EGT) *tagsága* a belső piaci hozzáférés magas szintjét nyújthatná. Ugyanakkor együtt jár az EU gazdasági szabályozása és a munkaerő szabad mozgása elfogadásával. (Lásd Norvégia példáját.) Az EGT-tag-ság esetén az Egyesült Királyság az egységes piac tagja maradhatott volna.

Az EU-ból s a belső piacból kilépve a WTO (Kereskedelmi Világszervezet) szabályrendszere visszaállíthatja a brit gazdasági szabályozás teljes szabadságát. Korlátozható az immigráció az Európai Unióból. Az Egyesült Királyság azonban elveszíti az EU-piacokhoz történő jelenlegi (2020. december 31-ig érvényesülő) szabad hozzáférést. A termékkereskedelemben a WTO „legnagyobb kedvezmény elve” (MFN) szerinti – az elnevezéssel ellentétben nem alacsony – vámok megjelenése, szemben az akadályoktól mentes belső piac konstrukciójával, új helyzetet eredményez. Új, nem vámjellegű korlátozások jönnek létre. A szolgáltatások területén a brit szereplők elveszítik *passporting* jogukat. A lehetséges további politikai opciók (svájci modell, vámunió stb.) – az előzőekben jelzettekhez

képe – a piacra jutás és a szuverenitás közbülső szintjeit nyújthatná. (Pontosabban: nyújthatták volna.)

A Brexitet követően az Egyesült Királyság áttekintheti a gazdaságpolitika összes, korábban az EU kompetenciájába vagy megosztott kompetenciába tartozó területeit (például nemzetközi kereskedelem, versenypolitika, regionális fejlesztés, kutatás, mezőgazdaság). Ugyanakkor bármely új – az EU- vagy a WTO-előírásokkal ellentétes – hazai támogatás vagy szabályozás további piaci korlátozások alkalmazását provokálhatja a globális kereskedelmi partnerek részéről. Az Egyesült Királyság és az Európai Unió közötti szabályozási eltérések növelik a brit vállalatok kereskedelmi költségeit: egyidejűleg kell teljesíteniük az eltérő hazai és az EU-ba irányuló export előírásait. Míg az EU-val történő politikai koordináció jövőbeli hiánya nagyobb szabadságot nyújt a hazai politika kialakításában, megnehezíti a brit vállalatok számára az egységes piacon történő kereskedelmet.

Az Egyesült Királyság elhagyta a vámuniót, lehetővé téve önálló kereskedelem-politika kialakítását s új kereskedelmi megállapodások tárgyalását az EU-n kívüli országokkal. Független kereskedelem-politikája révén az Egyesült Királyság saját érdekeire szabott kereskedelmi megállapodásokat köthet. Nem szükséges a tárgyalások során kompromisszumokat kötnie huszonhét további EU-tagállammal. Ugyanakkor, az EU-nál jóval kisebb piac lévén, kisebb alkuperővel rendelkezik a jövőbeli kereskedelmi tárgyalások során, mint az Európai Unió. Az Egyesült Királyságnak helyettesítenie vagy újra kell tárgyalnia a korábbi (például a Dél-Koreával kötött) kereskedelmi megállapodásokat. A korlátozott tárgyalási kapacitásra is figyelemmel a nagyobb és közelebbi kereskedelmi partnereknek, az Európai Uniónak és az Egyesült Államoknak valószínűleg prioritást kell kapniuk a tárgyalások során.

A Brexit következtében csökkenő kereskedelem, külföldi közvetlen beruházás és migráció dinamikus hatásait is számba véve, a kereskedelem mérséklődése, illetve a csökkenő brit hozzájárulás a közös költségvetéshez az egy főre jutó GDP 1,6–3,3% közötti csökkenését eredményezheti. Ha a Brexit hosszú távú termelési hatásait is figyelembe vesszük, *az egy főre jutó jövedelem 6,3–10% között csökkenhet* (Halmai, 2018). Mindez rendkívül súlyos gazdasági hatásokat, úgyszólván háborús mértékű *dezintegrációs veszteség (damnum) veszélyét* jelzi. A jelzett negatív hatásokat esetleg kiegyenlítő tényezőket eddig nem sikerült feltárni.

Az új piacokon megvalósítandó exportbővülés önmagában is lassú és költséges. Jelenleg Kína fogyasztási és beruházási kereslete a brit export iránt a brit GDP 1%-át teszi ki, Kanadáé és Ausztráliáé egyenként 0,5%-át, Indiáé pedig 0,25%-át. A földrajzi tényezők hatására tekintettel, a távoli országokkal folytatott kereskedelem növelését célzó törekvések rövid távon csak nagyon korlátozott hatásúak lehetnek. A nemzetközi integráció mélyítése nem EU-tag országokkal egészen más kihívást jelent, mint az EU-tagság során tapasztaltak. Az alacsony

jövedelmű országokkal történő további integráció – az EU-integrációhoz képest – növekvő igényhez vezethet a kereskedelem veszteséinek kompenzálását célzó fiskális transzferek iránt.

Az EU elhagyásáról szóló döntés a megnövekedett politikai szuverenitás ellenében rendkívül jelentős gazdasági költségeket eredményez. A Brexit pragmatikus forgatókönyve a veszteségek mérséklésére irányulhatna: *minél mélyebb integráció megőrzése révén elkerülendő új kereskedelmi költségek kialakulása az EU tekintetében*, egyidejűleg elő kell mozdítani a további integrációt az EU-n kívüli országokkal. E törekvések *mérsékelhetnék a Brexit gazdasági költségeit, ám nem lesznek elegendőek a negatív hatások ellensúlyozására.*

3. A BREXIT-REFERENDUM ÉS A MÉLYEBB HÁTTÉR

A problémakör továbbgondolásához először a brit népszavazás mögött fellelhető legfőbb tényezők azonosítása szükséges.

3.1. Brexit-referendum

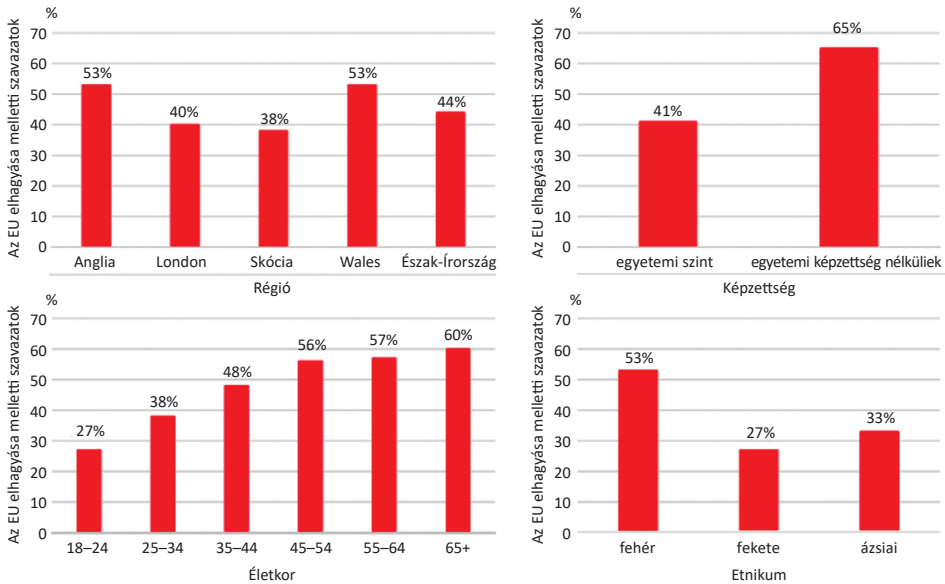
A Brexit-népszavazást csaknem negyedszázados EU-tagság elleni permanens kampány előzte meg az Egyesült Királyságban. Párhuzamosan a maastrichti szerződés aláírásával, a belső piac elindulásával, a Közösségek EU-vá alakulásával. E kampány nem a nagy pártok, a konzervatívok vagy a Munkáspárt irányából indult, s maradt fenn. Annak főszereplői egyetlen ügy, a Brexit támogatására alakult pártok: először a Referendum Párt, majd a Függetlenségi Párt (UKIP). E pártok szerint egyes kompetenciák megosztása Brüsszellel nem kívánt kényszer az Egyesült Királyság szuverenitásával szemben. Különösen éles viták tárgyát képezte a munkaerő szabad áramlása és az Európai Bíróság joghatóságának az elfogadása.

Az UKIP 2014-ben az európai parlamenti választáson az Egyesült Királyságban relatív többséget ért el: a briteket illető 73 helyből 24-et szerzett meg. Az UKIP, illetve az egyre euroszeptikusabbá váló Konzervatív Párt támogatóinak nyomása alatt az akkori miniszterelnök felajánlotta: ha a konzervatívok megnyerik a 2015. évi általános választásokat, akkor népszavazást tartanak az EU-tagságról. David Cameron az EU-tagság megőrzését támogatta. Kezdeményezésétől remélte: az megerősíti a konzervatívok támogatását a jobboldalon. Arra számított: a brit nép nem szavaz az EU elhagyására. A konzervatívok meglepő többséggel megnyerték a parlamenti választásokat. Cameron számítása tesztelésre kerülhetett. 2016. június 23-án 17,4 millióan szavaztak az EU elhagyására, s csak 16,1 millióan a maradásra. Cameron másnap lemondott a miniszterelnöki tisztségéről, s a Konzervatív Párt Theresa Mayt választotta meg helyére.

3.2. Kik és miért szavaztak a Brexitre?

Az *antiglobalizációs, populista offenzíva* a bizalom általános csökkenésén alapul. A politikai elit hibái csökkentik a választói bizalmat a hagyományos pártokban, nemzeti kormányokban, európai intézményekben. Luigi Guiso és szerzőtársai (2019) szerint: „Közvetlen módon a gazdasági bizonytalanság vezérli az egyetértést a populista politikákkal, közvetett módon pedig a bevándorlással összefüggésben a bizalomra és magatartásra gyakorolt negatív hatás.” E hatást a „populizmus kínálati oldala” erősíti. A populista pártok előnyt szereznek polarizáló platform kapacitásukból. Ilyen pártok valószínűbben emelkednek ki, és növekednek rendszerszintű válságok esetében, amelyeket a hagyományos bal- és jobboldali pártok nehezen kezelnek. Ez kiábrándítja a szavazókat, és a mérsékeltet tartózkodásához vezet.

Mit mutatnak az eredmények? A referendum a brit választókat megosztotta, a lakóhely földrajzi fekvése, az életkor, a képzettség és a nemzetiség szerint (lásd 3. ábra). Anglia és Wales a kilépésre szavazott, Skócia és Észak-Írország a maradásra. Ugyanakkor Londonban csak a szavazók 40%-a voksolt távozásra.



3. ábra. A Brexit-népszavazás egyes szavazati arányai (Sampson, 2017)

Az idősebb és kevésbé képzett szavazók valószínűbb módon szavaztak a kilépésre. A 18–24 évesek közül 27% szavazott a kilépés mellett, míg a 65 évesnél idősebbek között ez az arány 60% volt. Az egyetemi végzettséggel rendelkezők közül

csak 41% voksolt a kilépésre, míg a végzettség nélkülieknek 65%-a. Meglepő módon az EU elhagyása a politikai spektrum legkülönbözőbb oldalairól kapott támogatást. A konzervatív szavazók erős többsége (58%) támogatta a kilépést. Ugyanakkor a munkáspárti szavazók 43%-a és a Skót Nemzeti Párt támogatóinak 36%-a szavazott a kilépés mellett (Sampson, 2017).

Az EU elhagyására szavazókat a következő álláspontok jellemezték: nagyrészt konzervatív politikai profil, a kozmopolitizmus ellenzése, az a meggyőződés, hogy Nagy-Britanniában élni egyre rosszabb. A feminizmust rossznak tartók 74%-a, míg azt jó irányzatnak minősítők 38%-a szavazott a kilépésre. Hasonlóképpen: a globalizációt negatív irányzatnak minősítők 69%-a, illetve a multikulturalizmust elutasítók 81%-a voksolt a kilépés mellett. A maradást támogató szavazók 73%-a szerint ma Nagy-Britanniában jobb az élet, mint harminc évvel ezelőtt, ám a kilépésre szavazók 58%-a szerint az élet rosszabb, mint korábban.

A képzettség és kisebb mértékben az életkor voltak a szavazói magatartás leg-erősebb demográfiai tényezői. A felsőfokú képzettség 380 vizsgált terület esetében önmagában 62%-ban magyarázza a kilépési szavazatok arányának megoszlását, ugyanakkor a 60 évnél idősebb korosztály magasabb aránya is a kilépés melletti szavazatok magasabb arányát eredményezte (Becker et al., 2017).

A kilépés támogatása erős kapcsolatot mutatott a bevándorlással történő szembenállással. A bevándorlás témaköre központi szerepet játszott a Brexit-kampányban. Matthew J. Goodwin és Oliver Heath (2016) szerint a bevándorlás csökkentését igénylő szavazók 88%-a a Brexitet támogatta, ugyanakkor az EU-ból érkező bevándorlók magasabb aránya a kilépés melletti szavazatok alacsonyabb arányát eredményezte az érintett területeken. Egyes jelek szerint a bevándorlás növekedése, különösen a tizenkét, túlnyomórészt közép- és kelet-európai „új” tagállamból érkező bevándorlók esetében, a kilépésre leadott szavazatok magasabb arányával járt együtt. Ám e hatás viszonylag kicsi, s nem minden esetben mutatható ki (Colantone–Stanig, 2016; Goodwin–Heath, 2016; Becker et al., 2017).

A szavazási adatokból összefoglalóan kitűnhet: *a Brexitet elsősorban azok a szavazók támogatták, akik úgy érezték: a modern Nagy-Britannia lemondott róluk.* Magukra hagyottnak érezhették magukat képzettségük, koruk, gazdasági helyzetük vagy értékeik és a szociális változások iránya közötti feszültség miatt. Szélesebb értelemben úgy tűnik: *a társadalmi és gazdasági kizártság (depriváció) alakult át a Brexit támogatásává.*

Sara B. Hobbolt és Catherine E. De Vries (2016) szerint a következő három fő eleme lehet az európai integráció megítélésének: gazdasági költség-haszon számítások, értékek és identitások, végül a szavazók által hozzáférhető további információk. Mint az eddigiekből látható volt: *a Brexit nem gazdasági költség-haszon elemzések racionális mérlegelésének az eredménye.* Az Egyesült Királyság gazdasága rendkívül széles körű előnyökhöz jutott az európai integrációból.

Az EU-tagság egyenlőtlenségre kifejtett hatása nem a kereskedelemre összpontosult, hanem az immigráció bérkövetkezményeire. Az Egyesült Királyságba irányuló immigráció az EU-tagállamokból az 1990-es évek végétől gyorsan nőtt: 1995–2015 között az EU-tagállamokból érkezők aránya a teljes népességben 1,5%-ról 5,3%-ra nőtt (Wadsworth et al., 2016). A kutatások nem találtak szignifikáns negatív hatásokat az immigráció tekintetében az Egyesült Királyságban születettek foglalkoztatását vagy bérét illetően.

A Brexit tehát költségeket okoz sok támogatójának. Ez lényeges különbség a protekcionista kereskedelempolitikákhoz képest. (Például a dömpingellenes vámok vagy a mezőgazdasági import korlátozása, amelyek a szavazók bizonyos csoportjait védik a gazdasági integráció által okozott veszteségtől.) Ebben az értelemben a Brexit támogatása eltérő természetű, mint például a Kínával folytatott kereskedelem megkérdőjelezése az amerikai ipari dolgozók körében. Az érdemi gazdasági megfontolások hiánya a Brexit-szavazás magyarázatában negatív korrelációt jelez a képzettség és az EU elhagyását megszavazók között. A képzettség nagymértékben meghatározza a szavazók értékeit, identitását és információit. Mindez konzisztens azzal, hogy a gazdasági önérdek kevésbé fontos az immigrációval szembeni magatartás magyarázatában, illetve az immigrációnak a nemzet egészére gyakorolt feltételezett hatása miatti aggodalom tekintetében, mint a kulturális ragaszkodás (Hainmueller–Hopkins, 2014).

Miért szavaztak az érintett szavazók a Brexit mellett? Két hipotézis (Sampson, 2017) kínálkozik:

A nemzetállam primátusa. A sikeres nemzetállami kormányzás a kormányzottak egyetértését és részvételét követeli meg. A brit választópolgárok jó része szerint az EU-tagság erodálta a brit szuverenitást. Különösképpen akadályozta az Egyesült Királyságot az immigráció közben tartásában, illetve rákényszerítette a briteket az EU által alkotott jog alkalmazására. E hipotézis szerint az EU elhagyására szavazók vissza akarták venni a határaik és országuk feletti ellenőrzést.

„Az EU a bűnbak.” Sok ember érzi úgy, hogy a modern Nagy-Britannia magára hagyta. Az érintettek idősebb, kevésbé képzett, szociálisan konzervatívabb, gazdaságilag kevésbé sikeres emberek. Számukra úgy tűnik: az élet romlik, nem javul. A globális pénzügyi válság óta az Egyesült Királyságban az átlagbér reálértelmeben csökkent (Costa–Machin, 2017). Az EU elleni érzéseiktől befolyásolva, amelyeket az euroszeptikus erők kampánya tovább fokozott, az érintettek a migrációt és az EU-t okolták sok bajukért. E hipotézis szerint e szavazók azért támogatták a *Brexitet*, mert úgy érezték: az EU-tagság hozzájárult a helyzetükkel való elégedetlenségük kialakulásához.

A nemzetállami hipotézis szerint a Brexit a nemzeti identitás bizonyítása. A bűnbakképző hipotézis szerint pedig a Brexit a szavazók félretájékozottságának a következménye az EU-tagság, illetve annak megszűnése lehetséges követ-

kezményeiről. Valószínűleg mindkét hipotézisnek lehet realitása. Ám a rendelkezésre álló bizonyítékok nem elégségesek az egyes lehetséges magyarázatok relatív hozzájárulásának meghatározásához. Ha a kilépésre szavazókat megkérdezzük: miért szavaztak így, a nemzeti szuverenitás és a migráció a leggyakrabban idézett okok. E válaszok mindkét fentebb említett hipotézissel konzisztensek lehetnek. A szavazók szuverén nemzetállamukhoz való ragaszkodását, illetve a Brexitért kampányoló újságok és politikusok nyelvét egyaránt tükrözhetik. Ugyanakkor a hipotézisek között fontos különbségek vannak. Ha a teljes szuverenitás visszaszerzéséért támogatták a Brexitet, akkor – amennyiben hajlandóak vállalni az egységes piac elhagyásának gazdasági költségeit – a kilépést sikernek tekinthetik. Ám *ha a hibás információ vezetett a Brexit támogatásához, az EU elhagyása nem eredményez semmit a szavazók elégedetlenségének enyhítése tekintetében.* Szélesebb értelemben pedig: a két hipotézisnek eltérő következményei vannak a lehetséges politikai válaszok, illetve az európai és a globális integráció jövője tekintetében.

A mély integráció két tényezője kézenfekvő célpontja lehet bármiféle korlátozásnak: a munka szabad áramlása és az EU-jog szupremáciája az egységes piac szabályozásában. A négy alapszabadság az Európai Unió fundamentális alapelve.

Az előzetes hatáselemzések döntő többsége – mint az előzőkben már bemutatuk – egyértelműen jelezte *a Brexit várható rendkívül jelentős költségeit.* A szavazók ennek ellenére – kis többséggel – a Brexit mellett szavaztak. E ténynek három magyarázata is lehetséges. E lehetséges magyarázatok az alábbiak:

- A szavazók teljesen tudatában voltak a tudományos egyetértésnek. Megértették: számukra a Brexit *személyes gazdasági költséggel* jár. Ugyanakkor a teljes nemzetállami szuverenitás visszaszerzése megéri e teher viselését. Elvileg racionális, s egyben a demokráciában lehetséges átváltás (trade-off) lehet: valamiféle nem gazdasági előny érdekében a szabályozási alapú kooperáció csökken, annak csökkenése mérsékeli a piaci kereskedelmet, a kereskedelem csökkenése pedig az érintett állam és polgárai jövedelmének csökkenéséhez vezet. Az eredmény: (vélt) politikai előnyök megszerzése reményében szegényebbé váló ország.
- A szavazók ugyan ismerték a többségi tudományos egyetértést a Brexit várható hatásairól, ám azt egyszerűen *nem hitték el.* A legtöbb ember úgy gondolta: a Brexit következtében nem kerülnek gazdaságilag hátrányosabb helyzetbe. A legtöbb szavazó ismerte a brit kormány pozícióját: a Brexitnek lesznek gazdasági költségei. Kevésbé voltak tudatában a széles, e következtetést támogató tudományos egyetértésnek. Sokan úgy vélték, hogy ez nem számít. Michael Gove, akkori igazságügy-miniszter azt tanácsolta a választópolgároknak: ne vegyék tudomásul az előzetes tudományos kritikákat a Brexit hatásairól. A szakértőket a náci tudósokhoz hasonlította, akik üldözték Albert Einsteint (Humphries–Rawlinson, 2016).

- Sok szavazó egyszerűen *nem tudta*: erős tudományos egyetértés van abban, hogy a Brexit költséges. Társadalmi médiainformációk gyakran megerősítik az előítéleteket. A brit lapok évtizedeken át jellemzően euroszeptikusak voltak (Csaba, 2018, 170.). A televíziók (például a BBC) egyensúlyi értelmezéshez ragaszkodtak: a széles tudományos egyetértést képviselő közgazdászok szembekerültek a pro-brexit közgazdászok kicsiny csoportjával.

Nem meglepő: *valamely tudományos egyetértés rejtett maradhat*. Például a széles körű tudományos bizonyítékok ellenére sok ember kételkedik a klímaváltozás létezésében. (Korábban hasonló volt a helyzet a dohányzás káros hatásaival kapcsolatban.) Mindezekon túl, a közgazdaság-tudománynak jóval gyengébb kognitív megalapozottsága van, mint a fizikai vagy orvosi tudományoknak, amelyek ezek az eredmények alapulnak. Többszörös oka van a Brexit szavazási modelljének. A tudományos egyetértés a költségeket illetően csak egyetlen tényező ebben.

A bűnbakhipotézis szerint a Brexit támogatása nem az EU-tagságból következik, hanem *a modern élettel szemben elégedetlenek proteszt szavazata*. Italo Colantone és Piero Stanig (2016) szerint a kínai importnak való kitettség a Brexit melletti szavazatokat erősítette. Ez a bűnbakhipotézis mellett szól. A bűnbakhipotézis elfogadása nem fenyegeti az EU mint nemzetek feletti projekt ideáját. Nem nyújt azonnali okot a mély integráció kívánatossága ismételt megfontolására. Más kihívást emel azonban a nemzetközi integráció jövőjével szemben. Amíg a földrajz fontos tényezője a csoportidentitásnak, a nemzetközi intézmények mindig sebezhetőbbek lesznek a népszerűségi támogatás elvesztésével szemben, mint a hazai intézmények. *A kívülállókkal szembeni bűnbakkeresés visszatérő jelenség a világtörténelemben*. A Brexit tanulsága szerint korlátozhatja az integrációt.

Ha a bűnbakkereső feltételezés bizonyul helyesnek, a politikusok számára az európai és globális integráció tekintetében két opció lehetséges. Az egyik szerint a népszerű ellenkezést más cél irányában kell becsatornázni. Másrészt, a bűnbak változhat. Például baloldali politikusok progresszív populistaként a pénzügyi ágazatot, a nagyvállalatokat és a gazdagokat hibáztathatják a globális pénzügyi krízist követő rossz gazdasági közérzetért.

Alternatív módon a politikusok az Egyesült Királyságban és máshol *a magukra hagyott szavazók elégedetlenségének valódi okaira is összpontosíthatnak*. A gazdasági és szociális kizárás kezelése nem könnyű kihívás. Am a hátrányos helyzetű háztartások és régiók támogatására irányuló politikák, hozzáférés a magasabb minőségű oktatáshoz jó kiindulópontok lehetnek. Kevin H. O'Rourke (2017) szerint *az EU-nak kikötőnek kellene lennie a viharban a félénk választók számára*. A Brexitre azzal kellene válaszolnia, hogy megújítja elkötelezettségét az európaiak sokkoltól történő védelmében. Részben a kormányok nagyobb rugalmasságával, részben új hatékony sokkelnyelő, a rezilienciát növelő politikák alkalmazásával.

4. KÖVETKEZTETÉSEK. A POPULIZMUS ÁRA

A „kemény” *Brexit* a brit kilépés legsúlyosabb gazdasági veszteségeket okozó változata. Nagyrészt a határellenőrzés – EU-állampolgárokra kiterjedő – szigorításának vágya áll annak háttérében. Az valóban nem összeegyeztethető a belső piaci tagsággal. Általános – a populista politikusok által is táplált – hit: az EU-tagállamokból történő migráció nagyon negatív hatást gyakorolt a brit dolgozókra. Az ellenkező irányú, meggyőző bizonyítékok visszhang nélkül maradtak. A „*tényeken túli*” világ számít. Hasonló irányzatok más fejlett országokban is tapasztalhatóak: a dolgozókat frusztrálja a pénzügyi és gazdasági krízisből történő lassú kilábalás. Nagy figyelmet igényel a „kemény” *Brexit* lehetséges hatásainak beható elemzése, s e scenárió teljes árának pontos megmutatása. *A globalizáció és az integráció elleni populista lázadás éppen azoknak okozza a legnagyobb kárt, akik e megállíthatatlan folyamatokat a legerősebben korlátoznák.*

A teljes („sziklaszirt”) dezintegráció veszélye. A *Brexit* folyamata drámai irányú. A lágy, kisebb gazdasági veszteség esélyét nyújtó forgatókönyvek lehetetlenné váltak. A kemény *Brexit* már tény, de nagy a megállapodás nélküli (no deal) lezárás veszélye. Súrlódásmentes kapcsolatok helyett a hirtelen teljes dezintegráció lehetősége vált realitássá. Az elemi gazdasági érdekek nem tudtak áttörést elérni a *Brexit* folyamatban. A közpolitika kulcsterületei valós politikai relevanciával bíró, közérdeklődésre számot tartó, cselekvésre, válaszra vagy egyéb reakcióra váró valódi ügyek volnának. Ám a gazdasági tények e folyamatban kimaradtak a politikai tematizációból. Az Egyesült Királyságban a *Brexit* ügyében lényegében nem váltak a politikai napirend részévé. Mindez súlyos következményekkel fenyeget, elsősorban a brit gazdaságban és társadalomban.

Politikai projekt. A *Brexit* politikai projekt. Célja a pártpolitikai haszonszerzés volt a politikai arénában, a hatalmi dimenzióban. Mindennek gazdasági költségei a fő szereplők számára lényegében közömbösek voltak. A *Brexit* gazdasági vonatkozásairól határozottan kijelenthető: a kilépés mellett kampányt folytató politikusok lelkiismeretlenül félrevezették a brit szavazókat. (Például heti 350 millió GBP megtakarítását, jobb életszínvonalat ígértek a briteknek.) Egyfajta ördögi kör alakult ki: a populista politika felelőtlen, s nagyrészt hamis állításokon alapuló indulati offenzívája a népszavazáson a *Brexit* többségét hozta, de az ország páratlan megosztottságát eredményezve. A brit szavazók többsége nem volt tisztában a lehetséges gazdasági következményekkel. (A „szuverenitásköltség” tudatos vállalása minden alapot nélkülöz [URL] A „kerül, amibe kerül” a leginkább elvakult *brexiter* politikusok pozíciója, nem az átlagos brit választóké.) Ördögi kör alakult ki. Legnagyobb az esélye a mindkét fél (az Egyesült Királyság és az EU) számára leghátrányosabb végkifejletnek. Nem zéró végösszegű játékról van szó. Minden érintett fél érzékeny veszteségét hozza a brit kilépés. Ugyanakkor a

bizonytalanságból eredő negatív politikai, gazdasági és társadalmi hatások már a népszavazás óta érvényesülnek az Egyesült Királyságban, a tagállamokban, és a közös európai intézményrendszerben is.

„*Brexit-adó*”. A brit kilépés a korábban gondoltnál is összetettebb folyamat, rengeteg bizonytalansági tényezővel. Az Egyesült Királyságnak *jelentős sokkokkal, strukturális bizonytalanságokkal* kell szembenéznie, beleértve az alacsonyabb termelékenységi és növekedési kilátásokat, illetve a növekvő recessziós félelmeket. A különféle előzetes közgazdasági hatáselemzések egyaránt súlyos negatív hatásokat tártak fel. Az Egyesült Királyság recesszióba süllyedhet.¹ Nincs gazdasági előnye az EU elhagyásának. A Brexit következtében előálló tartós növekedési veszteség az OECD szerint „*Brexit-adóval*” terheli a brit háztartásokat (URL2). Utóbbit (háztartásonként évi 5-6 ezer GBP) bátran nevezhetjük a *populizmus árának*.

„*Igazságon túli politika*”, „*tényeken túli társadalom*”. A Brexit, illetve szélesebben a dezintegráció problémaköre általánosabb érvényű következtetések megfogalmazására is alkalmat kínál. A politikai versengés viszonyai között felerősödött az érzelmekre, a médiamanipulációkra alapozott „*tényeken túli*” politikai befolyásolás igénye. (Felmerült, hogy immár maga a korszak is a „*tényeken túli társadalom*” – *post factual society* – fogalmával írható le.) Az egyoldalú és valótlan információkon, a választók demagóg és manipulatív befolyásolásán, a racionalitás elvetésén nyugvó populizmus térhódítása nagy kihívás a demokrácia, egyúttal az európai nemzeteket egyesítő európai integráció számára is. *A populizmusnak súlyos ára van*. A tudomány felelőssége, hogy a társadalom számára a társadalmi és gazdasági alapkérdések tekintetében pontos és kiegyensúlyozott információkat, racionális magyarázatot nyújtson. Valamennyi EU-tagállamban alapvető jelentőségű, hogy a társadalom helytálló információkat kapjon az integráció tényleges és potenciális hatásairól.

IRODALOM

- Becker, S. O. – Fetzer, T. – Novy, D. (2017): *Who Voted for Brexit? A Comprehensive District-Level Analysis*. (CEP Discussion Paper No 1480), <http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp1480.pdf>
- Campos, N. – Coricelli, F. (2015): *Some Unpleasant Brexit Econometrics*. VOX CEPR's Policy Portal, <http://voxeu.org/article/some-unpleasant-brexit-econometrics>
- Campos, N. F. – Coricelli, F. – Moretti, L. (2019): Institutional Integration and Economic Growth in Europe. *Journal of Monetary Economics*, 103, May, 88–104. DOI: 10.1016/j.jmoneco.2018.08.001, https://www.researchgate.net/publication/327016964_Institutional_Integration_and_Economic_Growth_in_Europe

¹ Különös tekintettel az egyébként is várható recessziós hatásokra, illetve a koronavírus-sokk extra hatásaira.

- Colantone, I. – Stanig, P. (2016): *Global Competition and Brexit*. DOI: 0.1017/S0003055417000685, https://editorialexpress.com/cgi-bin/conference/download.cgi?db_name=RESConf2017&-paper_id=315
- Costa, R. – Machin, S. (2017): *Real Wages and Living Standards in the UK*. <http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/ea036.pdf>
- Crafts, N. (2016): *The Growth Effects of EU Membership for the UK: A Review of the Evidence. (University of Warwick CAGE Working Paper No. 280)* <https://www.smf.co.uk/wp-content/uploads/2016/04/SMF-CAGE-The-Growth-Effects-of-EU-Membership-for-the-UK-a-Review-of-the-Evidence-.pdf>
- Csaba L. (2018): *Válság, gazdaság, világ. Adalék Közép-Európa három évtizedes gazdaságtörténetéhez (1988–2018)*. Budapest, Éghajlat Kiadó
- Goodwin, M. – Heath, O. (2016): The 2016 Referendum, Brexit and the Left Behind: An Aggregate-level Analysis of the Result. *Political Quarterly*, 87, 3, 323–332. DOI: 10.1111/1467-923X.12285
- Guiso, L. – Herrera, H. – Morelli, M. et al. (2019): Global Crises and Populism: The Role of Eurozone institutions. *Economic Policy*, 34, 97, January, 95–139, DOI: 10.1093/epolic/eiy018, <https://academic.oup.com/economicpolicy/article/34/97/95/5272455>
- Hainmueller, J. – Hopkins, D. J. (2014): Public Attitudes toward Immigration. *Annual Review of Political Science*, 17, 1, 225–249. <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-polisci-102512-194818>
- Halmi P. (2018): A Brexit lehetséges gazdasági hatásai. *Európai Tükör*, XXI. 2, <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/eumirror/article/view/1177/497>
- Hobolt, S. B. – De Vries, C. E. (2016): Public Support for European Integration. *Annual Review of Political Science*, 19, 1, 413–432. <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-polisci-042214-044157>
- Humphries, W. – Rawlinson, K. (2016): Gove’s Nazi Jibe at Pro-EU Experts. *The Times*, 22 June 2016. <https://www.thetimes.co.uk/article/gove-s-nazi-slur-on-pro-eu-experts-s2dh2tl6h>
- Ketels, C. H. M. – Porter, M. E. (2018): *UK Competitiveness after Brexit*. (Harvard Business School Working Papers 19-029) Harvard Business School, <https://hbs.me/3lDxtlF>
- Kierzenkowski, R. – Pain, N. – Rusticelli, E. et al. (2016): The Economic Consequences of Brexit: A Taxing Decision. (OECD Economic Policy Papers, No. 16) Paris: OECD Publishing. DOI: 10.1787/5jm0lsvdkf6k-en, <https://www.oecd.org/unitedkingdom/The-Economic-consequences-of-Brexit-27-april-2016.pdf>
- O’Rourke, K. H. (2017): Brexit, Political Shock Absorbers, and the Three Rs. In: Beck, T. – Underhill, G. (eds.): *Quo Vadis? Identity, Policy and the Future of the European Union*. London: CEPR, https://cepr.org/sites/default/files/news/QuoVadis_March2017.pdf
- Sampson, T. (2017): Brexit: The Economics of International Disintegration. *Journal of Economic Perspectives*, 31, 4, 160–184. DOI: 10.1257/jep.31.4.163, <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.31.4.163>
- Wadsworth, J. – Dhingra, S. – Ottaviano, G. et al. (2016): *Brexit and the Impact of Immigration on the UK*. London: CEP, <https://cep.lse.ac.uk/pubs/download/brexit05.pdf>

URL1: <https://blogs.lse.ac.uk/europpblog/2020/02/04/the-implications-of-brexit-for-the-uk-economy/>

URL2: <http://www.oecd.org/economy/oecd-study-finds-britons-will-be-paying-a-heavy-brexit-tax-for-many-years-if-uk-leaves-eu.htm>

AZ OPTIKAI INTERFEROMETRIA 100 ÉVE A CSILLAGÁSZATBAN

100 YEARS OF OPTICAL INTERFEROMETRY IN ASTRONOMY

Kóspál Ágnes

az MTA doktora

Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest
kospal@konkoly.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Idén ünnepeljük a 100. évfordulóját annak, hogy először sikerült megmérni egy olyan csillag látszó átmérőjét, amely nem a mi Napunk. A méréshez az interferometria módszerét használták, amelynek csillagászati alkalmazása a 19. század végére nyúlik vissza, de a mai napig töretlenül népszerű, és számos alapvető fontosságú csillagászati felfedezést ért el ezzel a technikával. Ebben a cikkben bemutatom Michelson és kollégái híres kísérletét, amellyel meghatározták a Betelgeuze nevű vörös szuperóriás csillag látszó átmérőjét. Azt is áttekintem, hogyan fejlődött azóta a csillagászati interferometria, és mit tanultunk erről a csillagról az új műszereknek köszönhetően. Végül röviden összefoglalom az interferometriai kutatásokhoz és műszerfejlesztésekhez való magyar hozzájárulást.

ABSTRACT

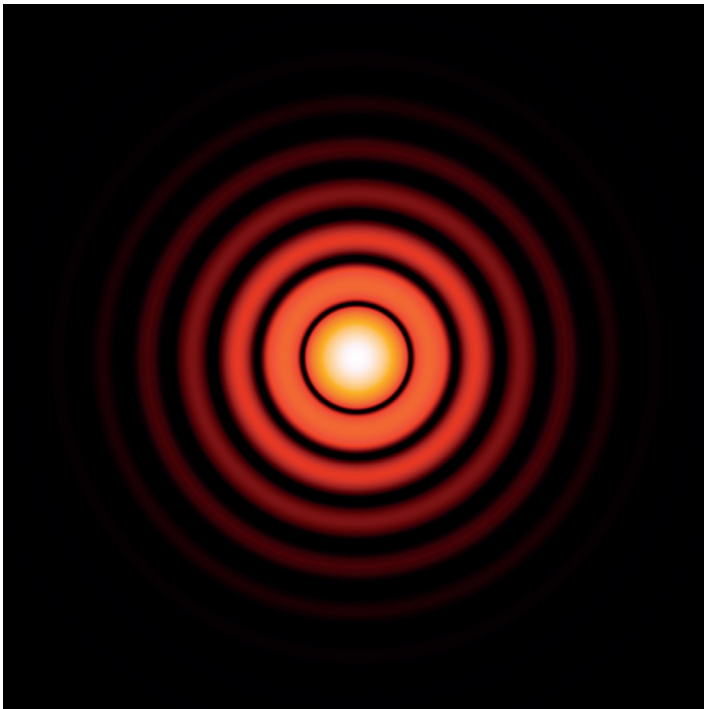
This year we celebrate the 100th anniversary of the first measurement of the apparent size of a star other than our Sun. The employed method, interferometry, and its astronomical applications date back to the end of the 19th century, but it is still popular today and has been providing many fundamentally important astronomical discoveries. In this article I describe the famous experiment carried out by Michelson and collaborators where they determined the apparent diameter of the red supergiant star Betelgeuse. I also review how astronomical interferometry has developed, and what we have learnt about this star since thanks to the new instruments. Finally, I briefly summarize the Hungarian contribution to interferometric research and instrument development.

Kulcsszavak: csillagászat, interferometria, Betelgeuze, Michelson

Keywords: astronomy, interferometry, Betelgeuse, Michelson

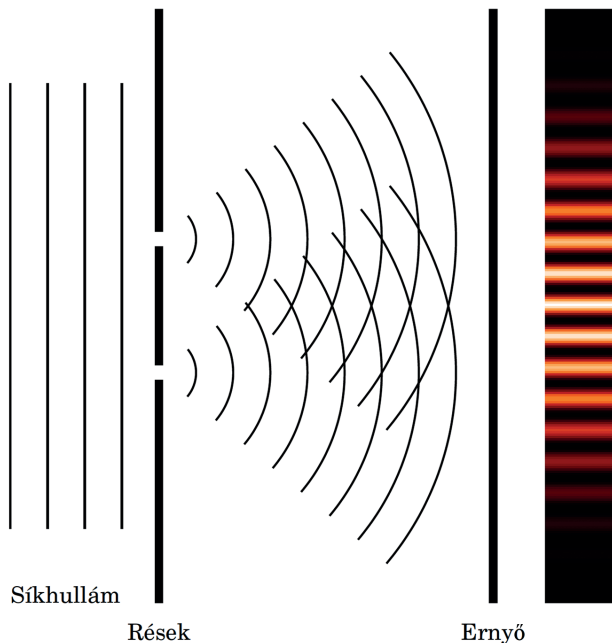
A CSILLAGÁSZATI INTERFEROMETRIA ALAPJAI ÉS EREDETE

Sokáig a Nap volt az egyetlen olyan csillag, amelynek felszínéről részletes megfigyeléseink voltak, hiszen a csillagok olyan távoliak, hogy még távcsövekkel is pontszerűnek tűntek. Egy távcső elméleti felbontását, vagyis, hogy milyen apró részletek figyelhetők meg vele az égen, a távcsőtükör átmérője és a vizsgált fény hullámhossza szabja meg. Ennek oka alapvetően a fény hullámtermészete. Egy optikai rendszerben a fénytörés miatt egy pontforrás képe nem tökéletes pont a fókuszsíkban. A távcsőnyíláson belépő fénycsugárkók néhol erősítik, néhol kioltják körülveve. Ezt a mintázatot George Airy angol csillagász után Airy-mintázatnak hívjuk (1. ábra). A mintázat közepétől az első sötét gyűrűig a távolság $1,22 \lambda/D$ radián vagy $70 \lambda/D$ fok, ahol λ a vizsgált fény hullámhossza, D pedig a távcsőtükör átmérője. Minél nagyobb tehát a távcsőtükör, elméletileg annál kisebb az Airy-mintázat központi foltja, és annál könnyebb egymáshoz közeli kettőscsillagokat megkülönböztetni, vagy egy kiterjedt objektum méretét megállapítani. Ezt hívjuk Rayleigh-kritériumnak. Az optikai interferometriáról jó összefoglaló olvasható John Monnier és Slobodan Jankov cikkeiben (Monnier, 2003; Jankov, 2010).



1. ábra. Airy-mintázat számítógépes szimulációja a szerző által

Azt, hogy az interferometria jelenségét fel lehet használni a csillagok méretének meghatározására, először Hippolyte Fizeau francia fizikus vetette fel 1868-ban. A jelenség fizikai háttere 1801 óta ismert, ekkor publikálta Thomas Young angol fizikus és polihistor a híres kétrés-kísérletét. Amikor egy monokromatikus (egyetlen hullámhosszal jellemezhető) sík hullámfront (vagyis egy nagy távolságban elhelyezkedő pontszerű fényforrás sugárzása) áthalad az egymástól D távolságra levő két résen, az ernyőn sötét és világos sávokat látunk (2. ábra). Ha a fényforrás nem pontszerű, hanem kiterjedt, akkor a különböző szögben érkező fénysugarak kicsit másutt hozzák létre ezt a mintázatot, amelynek így a sötét és világos sávjai közti kontraszt lecsökken. Kimutatható, hogy az interferenciamintázat teljesen eltűnik, ha a fényforrás mérete $1,22 \lambda/D$. Nincs tehát más feladatunk, mint egy fényrekeszt tenni a távcsőtükör elé két réssel, előállítani az interferometria-mintázatot, majd addig távolítani a réseket egymástól, amíg a mintázat eltűnik. Ezzel a kísérlettel először Édouard Stephan, a Marseille-i Observatórium igazgatója próbálkozott meg 1872–73-ban a világ akkor legnagyobb tükrös távcsövével, egy 80 cm-es műszerrel, amelyet Léon Foucault épített (URL1). Stephan a Szíriuszra és más fényes csillagokra végzett méréseket, de csak annyit tudott megállapítani, hogy a csillagok látszó átmérője kisebb mint $1/6$ ívmásodperc (ma már tudjuk, hogy a Szíriusz szögátmérője mindössze $0,006$ ívmásodperc).



2. ábra. A kétrészes kísérlet során létrejövő interferenciamintázat

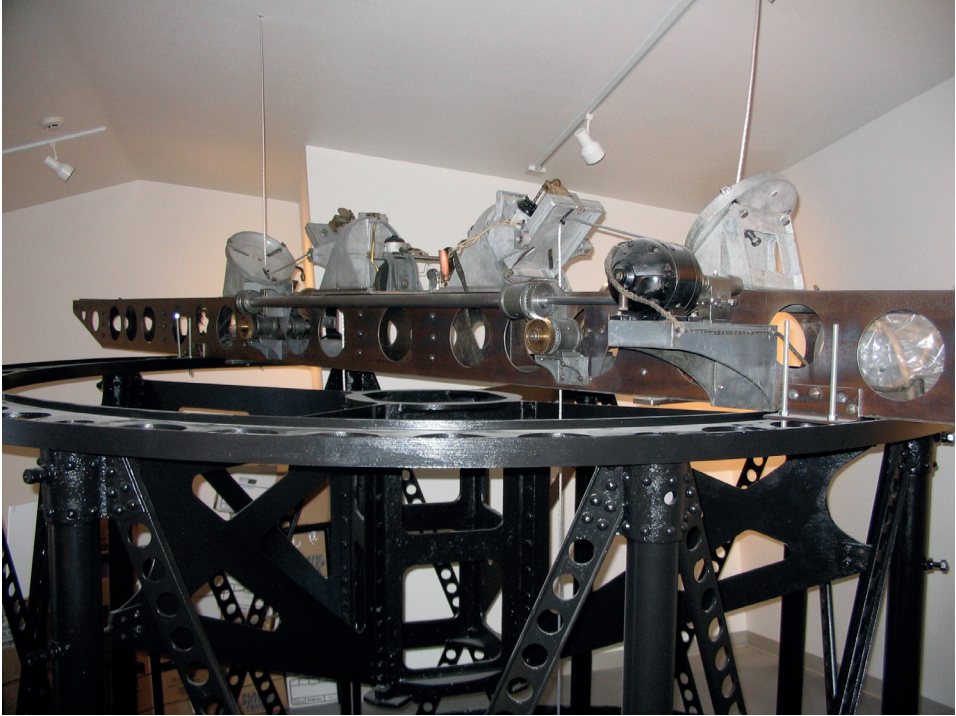
Ezzel egy időben az Egyesült Államokban Albert Michelson is ugyanez a probléma foglalkoztatta. Kidolgozta az interferometria matematikai alapjait, és 1890-ben Fizeau-tól és Stephantól függetlenül publikálta, hogyan lehet a csillagok átmérőjét megmérni a távcsőtükör elé helyezett két réssel (Michelson, 1890). Definiálta az interferometrikus vizibilitás fogalmát, ami tulajdonképpen az interferenciamintázat kontrasztja, az amplitúdója osztva az átlagával, azaz $V = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$. Megmutatható, hogy a vizibilitás nem más, mint az égi objektum fényességeloszlásának Fourier-transzformáltja (van Cittert–Zernike-tétel). A Lick Observatórium 30 cm-es refraktorával Michelson 1891-ben megmérte a Jupiter holdjainak átmérőjét, Karl Schwarzschild pedig 1896-ban a Müncheni Observatórium 25 cm-es teleszkópjával több kettőscsillag szeparációját, vagyis a komponensek egymástól mért látszó távolságát (Michelson, 1891; Schwarzschild, 1896).

ZSENIÁLIS KÍSÉRLET A BETELGEUZE MÉRETÉNEK MEGMÉRÉSÉRE

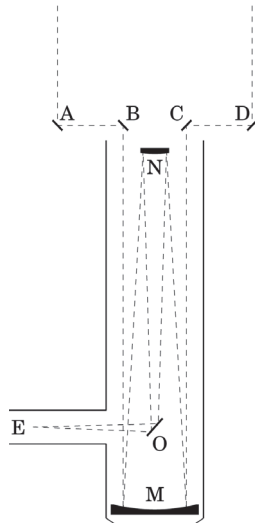
Ebben az időben már több csillag méretére voltak becslések. Ha egy csillagnak ismert a távolsága (például parallaxismérésből), akkor a látszó fényességéből ki lehet számolni a fényteljesítményét (L). Ha pedig ugyanennek a csillagnak mérjük a színekét, abból megállapítható az effektív hőmérséklete (T). Feltételezve, hogy a csillag fekete testként sugároz, a csillag sugara és fényteljesítménye közötti összefüggés $R = \sqrt{L / (4\pi\sigma T^4)}$, ahol a σ a Stefan–Boltzmann-állandó. Ez alapján lehetett sejteni, hogy a legtöbb csillag látszó mérete nagyon kicsi, mindössze néhány század- vagy ezredívmásodperc. Félő volt, hogy a légkör zavaró hatása és az interferometrikus mérések nehézsége miatt a csillagok átmérőjének megmérése lehetetlen feladat.

Michelson és kollégái, Francis Pease és John Anderson 1920-ban a kaliforniai Mount Wilson Observatórium igazgatójának kérésére mégis megpróbálkoztak a méréssel, mégpedig a három évvel korábban elkészült 100 hüvelyk (2,5 méter) tükörátmérőjű Hooker-távcsővel, a világ akkor legnagyobb távcsővével. Ennek tubusára építettek egy szerkezetet, amely négy tükröt tartalmazott (3–4. ábra). Ebben az összeállításban az A és D jelű tükrök felel meg a két résznek. Innen a fénysugarak a B és C síktükrökre, majd az M főtükörre, az N segédtükörre, onnan pedig az O síktükör segítségével a távcsőtubuson kívülre jutottak, és az E pontban egyesültek, ahol megtörtént az interferencia (Chant, 1921).

Célpontnak az Orion csillagkép egy fényes csillagát, a Betelgeuzét választották, bár akkor ennek a méretére még nem volt becslés, mert alacsony felszíni hőmérsékletű csillag lévén sugárzásának maximuma a színeképi infravörös tartományába esett, effektív hőmérséklete nem volt ismert, így a fent említett Stefan–Boltzmann-törvényt sem lehetett rá alkalmazni (URL1). A mérés során a távcsövet a Betelgeuzéra irányították, és megfigyelték a létrejött interferen-



3. ábra. A Michelson és munkatársai által a 2,5 méter tükörrátmérőjű Hooker-teleszkóp vázára szerelt interferométer (Fotó: Sonali Shukla)



4. ábra. Michelsonék mérési összeállításának vázlata

ciamintázatot. Kezdetben az A és D tükör 1,2 méterre volt egymástól. Ahogy távolították a két tükröt, a mintázat megváltozott, majd amikor a két tükör 3,065 méterre került egymástól, a mintázat eltűnt. A fényforrás mérete tehát $1,22 \lambda / D = 1,22 \times 0,000575 \text{ mm} / 3065 \text{ mm}$ radián = 0,047 ívmásodperc (Michelson–Pease, 1921).

EGY BUGYBORÉKOLÓ SZUPERÓRIÁS CSILLAG

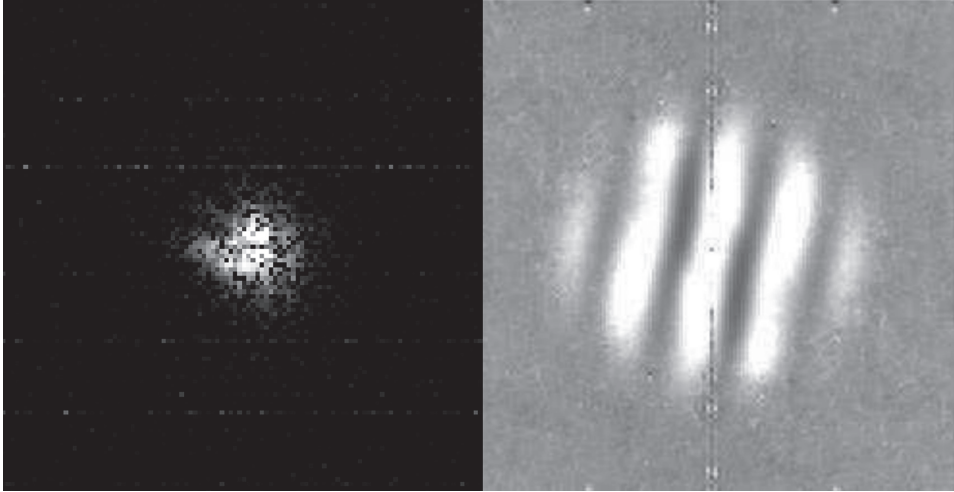
Az akkori mérések szerint úgy gondolták, a Betelgeuze távolsága 181 fényév, ebből pedig kiszámítható, hogy a csillag átmérője 2,6 CSE (a csillagászati egység a Nap és a Föld közötti átlagos távolság, 150 millió km). Többek között magyar hozzájárulásnak (Molnár László) is köszönhetően ma már tudjuk, hogy a csillag háromszor messzebb van, mint Michelsonék hitték (Joyce et al., 2020). A látszó méretére kapott érték viszont ma is pontosnak számít, az új távolsággal tehát a csillag átmérője mintegy 7 CSE. Ez azt jelenti, hogy ha a Betelgeuze a Nap helyén lenne, elnyelné a Merkúrt, a Vénuszt, a Földet, a Marsot és a kisbolygóöv nagy részét is. Mérete majdnem ezerszerese a Napénak, vörös szuperóriás csillagként magjában a hidrogén már elfogyott, így a hidrogénfúzió a mag körüli héjban zajlik.

A Michelson és kollégái felfedezését követő hetvenöt év során a Betelgeuze a legnagyobb látszó átmérőjű csillagnak számított (ma már csak második legnagyobb az R Doradus után). Így nem csoda, hogy számos megfigyelés vette célba, először, hogy minél több különböző hullámhosszon megmérjék a méretét, később pedig, hogy közvetlen képet alkossanak a felszínéről.

Az 1970-es évek elején Antoine Labeyrie kidolgozta a folt-interferometria technikáját (Labeyrie et al., 1970; Bonneau–Labeyrie, 1973). Ez eltér a korábbi klasszikus rés-interferometriától, ugyanis egy távcső teljes apertúráját használja. A földi légkör zavaró hatása miatt kellően nagy távcsőtükör esetén sem lesz tetszőlegesen keskeny az Airy-mintázat központi csúcsa. A véletlenszerű légköri turbulencia hatására az égi objektumból érkező síkhullám amplitúdója és fázisa torzul, interferencia alakul ki, és a mintázat felbomlik apró foltokra, amelyek időben gyorsan változnak. Nagy nagyítással és a légkör turbulenciájához képest rövid expozíciós idővel ez a foltmintázat rögzíthető, és Fourier-analízis segítségével kinyerhető belőle az a nagy térbeli felbontású információ, amely hosszabb exponálású képeken összemosódik, elvész. Folt-interferometriával egyébként Magyarországon is folytak sikeres kísérletek (5. ábra).

A folt-interferometria technikájával Daniel Gezari és munkatársai 1972-ben a Hale Observatórium 5,1 méter tükörátmérőjű távcsövével több különböző színű szűrővel is megmérték a Betelgeuzét. Azt találták, hogy a mérete függ a megfigyelt fény hullámhosszától: kékben nagyobb, mint vörösben a csillag fotoszférá-

ja felett elhelyezkedő kromoszférában történő fényszóródás miatt (Gezari et al., 1972). Azt is észrevették, hogy a Betelgeuze nem egyenletesen fényes korong, hanem a széle sötétebb, ugyanúgy, mint a Nap esetében. A szélsötétedés oka az, hogy a csillag fotoszférájában felfelé csökken a hőmérséklet.



5. ábra. A HD 50522 jelű kettőscsillag közvetlen képalkotással (balra) és folt-interferometriával készített interferogramja (jobbra).

A képeket Detre Örs Hunor, Regály Zsolt és Mező György 2007-ben készítette a Piszkéstetői Observatórium 50 cm tükörátmérőjű távcsövével

A folt-interferometria technikája mellett foglalkoztak azzal a módszerrel is, hogy a távcsőtükört letakarták, és csak a tükör bizonyos pontjaira engedtek fényt, kicsit hasonlóan a kétrés-kísérlethez. Ezt hívják apertúramaszkolásnak. Az így kapott képekből az interferometrikus vizibilitások modellezésével, Fourier-analízissel lehet megkapni a megfigyelt csillag fényességeloszlásának nagy felbontású képét. A Betelgeuzéra több ilyen mérés is született az 1980-as években, míg végül 1989-ben David Buscher és munkatársainak először sikerült kimutatniuk a 4,2 méter tükörátmérőjű William Herschel-teleszkóppal, hogy a Betelgeuze felszínén egy fényes folt van, amely a csillag teljes fényességének 10–15%-át adja (Buscher et al., 1990). Az ezt követő évek során a mérést többször megismételték, és esetenként két vagy három foltot is találtak a csillagon (Wilson et al., 1997). A foltok fényessége és elhelyezkedése már néhány hét alatt megváltozott, méretük és fényességük pedig konvekciós eredetre utalt, vagyis olyan buborékokra, ahol a környezeténél forróbb gáz emelkedik fel a csillag felszínére. A konvekciónak fontos szerepe van abban, hogy a magfúzió által felszabadult energia kijusson a csillagok belsejéből.

1997-ben David Burns és munkatársai először publikáltak egy csillagról olyan térbelileg felbontott képet, amely nem egyetlen távcsővel készült, hanem több különálló teleszkóp fényét kombinálta (Burns et al., 1997). A mérés az angliai Cambridge Optical Aperture Synthesis Telescope (COAST) műszerrel készült, amely négy 40 cm-es távcsőből állt, a célpont pedig – természetesen – a Betelgeuze volt. Érdekes módon ekkor nem találtak foltokat a csillagon, bár fél évvel korábban, amikor a Hubble-űrtávcsővel először készítettek közvetlen (nem interferometrikus) képet a csillagról, még volt rajta folt (Gilliland–Dupree, 1996). Ahhoz, hogy a Hubble-űrtávcsővel fel lehessen bontani a Betelgeuze képét, nemcsak az kellett, hogy kijavítsák a teleszkóp főtükreinek leképezési hibáját, hanem az is hozzájárult, hogy a mérések ultraibolya hullámhosszon történtek, ahol a Betelgeuze több mint kétszer akkorának látszik, mint optikai hullámhosszakon. Földi telepítésű interferométerekkel még mindig jobb térbeli felbontás érhető el, mint bármelyik űrtávcsővel. 2009-ben Xavier Haubois és kollégái már egészen látványos képet készítettek a Betelgeuzéről infravörös hullámhosszon a három 45 cm-es távcsőből álló arizonai IOTA-interferométerrel. A csillagon ezúttal két fényes foltot láttak (Haubois et al., 2009).



6. ábra. Fantáziakép a Betelgeuze csillagról, felszínén a forró buborékokkal, körülötte pedig az alacsonyabb hőmérsékletű kiáramló anyaggal (ESO, L. Calçada)

A Betelgeuze 2020 elején azzal került a hírekbe, hogy szokatlanul elhalványult, minimumban korábbi fényességének mindössze 25%-ával világított. Több mint száz évre visszanyúló fényességmérések alapján tudjuk, hogy a csillag gyakran mutat fényváltozásokat, amelyek egy része nem a korábban említett fényes foltok el- és feltűnésével kapcsolatos, hanem azzal, hogy a szuperóriás csillag folyamatosan veszít az anyagából. A kiáramló anyag óriás gáznyúlványokat alkot (6. ábra). Amint a kiáramló gáz eléggé lehűl, benne szilárd szemcsék kondenzálódnak ki, amelyek porfelhőt alkotnak a csillag körül. Ez a por időnként eltakarja a csillagot, annak időszakos elhalványulását okozva (Kervella et al., 2009; Ohnaka et al., 2009; Levesque–Massey, 2020).

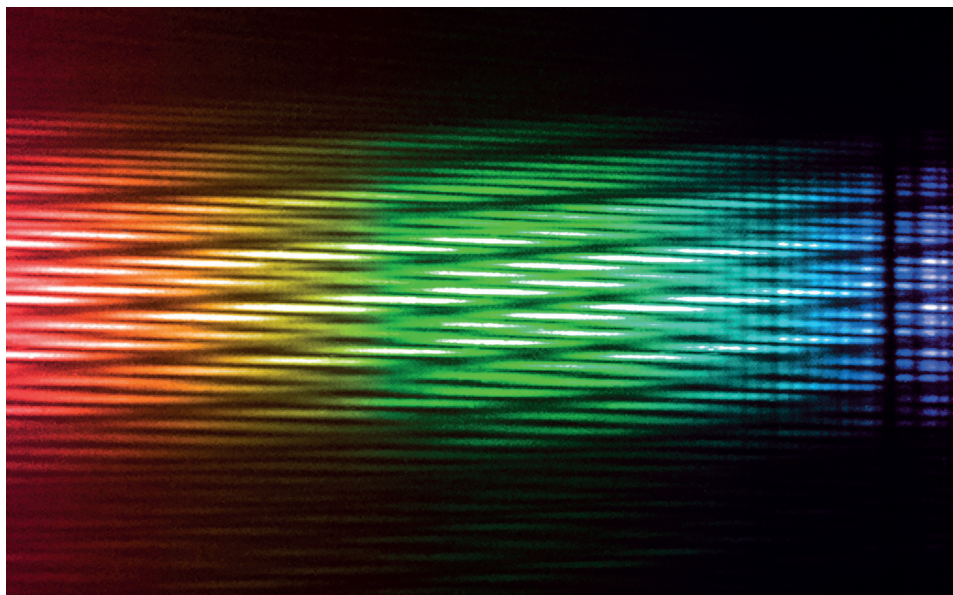
MAGYAR HOZZÁJÁRULÁS INTERFEROMETRIAI KUTATÁSOKHOZ ÉS MŰSZERFEJLESZTÉSEKHEZ

Optikai és infravörös hullámhosszakon a legnagyobb interferométer az Európai Déli Obszervatórium (ESO) chilei Nagyon Nagy Távcsövén (Very Large Telescope, VLT) működik a chilei Paranal Obszervatóriumban, a Föld egyik legszárabb, legjobb asztroklimájú vidékén. A 2001 óta működő VLT Interferométer (VLTI) négy 8,2 méter tükörátmérőjű fix távcsöből és négy 1,8 méteres mozgatható távcsöből áll (Glindemann et al., 2001). A távcsövek kettesével, hármasával vagy négyesével használhatók interferometriára. Ezzel a valaha készült legelősebb kép felbontása 0,004 ívmásodperc.

Az 1962-es alapítású ESO Európa első számú kormányközi csillagászati szervezete, amelynek jelenleg tizenhat európai tagállam és Chile a tagja. Bár Magyarország nem tagja az ESO-nak, nemzetközi együttműködések keretében a magyar kutatók rendszeresen használják az ESO távcsöveit, többek között annak interferométerét is. A Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Csillagászati Intézetében 2003 óta folynak infravörös-interferometriai kutatások. Mosoni László a VLTI MIDI műszerének csapatában dolgozott a heidelbergi Max Planck Intézetben, ahonnan fontos szaktudást hozott haza. Magyar csillagászok rendszeresen részt vesznek az ESO által tartott VLTI nyári iskolák szervezésében is, melyeken a fiatal kutatók tanulhatják meg a bonyolult műszerek használatát, az interferometrikus mérések tervezését és az adatok feldolgozását. 2008-ban például Keszthelyen rendezték meg a VLTI nyári iskolát, és tervben van, hogy 2022-ben vagy 2024-ben újra Magyarországra hozzuk ezt a rendezvényt.

A VLTI legújabb műszere a 3–13 mikrométeres hullámhosszon, az infravörös tartományban működő MATISSE, amely 2018-ban állt a csillagászok szolgálatába. Ez az első olyan közép-infravörösben működő interferométer, amely négy távcső jelét kombinálja, és alkalmas a képalkotásra (Lopez et al., 2014). A műszerrel elsőként a Betelgeuze, Rigel és Szíriusz csillagokat vizsgálták (7. ábra). A MATISSE sikeréhez magyar kutatók munkája is hozzájárult. Ilyen volt a mű-

szerben az abszolút nulla fok közelében működő motorok által okozott hőterhelés hőtani szimulációja, egy műszeregység kalibrációs kamerájának megtervezése és legyártása, modellezés a műszer biztonságos mozgatásához szükséges szállítóelemekre, a szállítási műveletek során várható mechanikai igénybevételre, valamint a műszer felhasználói szoftverének kialakításában és fejlesztésében való részvétel is. 2018 márciusában magyar csillagászok is részt vettek Chilében a MATISSE üzembe helyezésében.



7. ábra. A Szíriusz csillagról a MATISSE-műszerrel kapott interferenciamintázat.
(Forrás: ESO/MATISSE-konzorcium)

Magyarországon az infravörösben végzett interferometrikus mérésekkel kapcsolatos kutatások elsősorban a fiatal, fősorozat előtti csillagok körüli anyagkorongok vizsgálatára koncentrálnak, többek között az MTA (Kóspál Ágnes, Lendület pályázat, 2014), az Európai Kutatási Tanács (Kóspál Ágnes, ERC Starting Grant pályázat, 2017) és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (Ábrahám Péter, kutatási témapályázat, 2019) támogatásával. Ezeknek a korongoknak fontos szerepük van a csillagok felépülésében, és ezek a szülőhelyei az exobolygórendszereknek is. Varga József és munkatársai 2018-ban átfogó vizsgálatot publikáltak, amelyben a VLTI MIDI-műszerével nyolcvankét fiatal csillag körüli korongról 8–13 mikrométer tartományban készült interferometrikus méréseket elemeztek (Varga et al., 2018). Az ugyancsak a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Csillagászati Intézetben dolgozó Lei Chen és kollégái a HD 169142

jelű közepes tömegű fiatal csillagról készítettek több alkalommal 1,65 mikrométeren interferometrikus méréseket (Chen et al., 2019). Az adatok vizsgálatából kiderült, hogy a csillag körül valószínűleg korábban létrejött planetézimálok, bolygókezdemények összeütközése nyomán egy törmelékből álló gyűrű jött létre a csillagtól kb. 0,3 CSE távolságban (a Naprendszerben nagyjából ilyen távolságban kering a Nap körül a Merkúr). Csillagok környezetét kizárólag interferometrikus mérésekkel lehet ilyen térbeli skálán vizsgálni. Ezek az eredmények is tanúsítják, hogy Michelson száz évvel ezelőtti úttörő kísérlete óta az interferometria beépült a csillagászok eszköztárába az egész világon, így Magyarországon is.

A szerző kutatásait az Európai Unió Horizon 2020 kutatási és innovációs programjának keretében az Európai Kutatási Tanács (ERC) 716155 számú (SACC-RED) pályázata, valamint a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal 132406 számú kutatási témapályázata támogatja.

IRODALOM

- Bonneau, D. – Labeyrie, A. (1973): Speckle Interferometry: Color-dependent Limb Darkening Evidenced on Alpha Orionis and Omicron Ceti. *The Astrophysical Journal*, 181, L1–L4. ADS¹: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1973ApJ...181L...1B>
- Burns, D. – Baldwin, J. E. – Boysen, R. C. et al. (1997): The Surface Structure and Limb-darkening Profile of Betelgeuse. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 290, L11–L16. DOI: 10.1093/mnras/290.1.L11
- Buscher, D. F. – Haniff, C. A. – Baldwin, J. E. et al. (1990): Detection of a Bright Feature on the Surface of Betelgeuse. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 245, 7–11. ADS: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1990MNRAS.245P...7B>
- Chant, C. A. (1921): Betelgeuse: How Its Diameter Was Measured. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 15, 133–136. ADS: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1921JRASC..15..133C>
- Chen, L. – Moór A. – Kreplin, A. et al. (2019): Variable Warm Dust around the Herbig Ae Star HD 169142: Birth of a Ring? *The Astrophysical Journal Letters*, 887, L32. DOI: 10.3847/2041-8213/ab59dd, arXiv, <https://arxiv.org/pdf/1911.10253.pdf>
- Gezari, D. Y. – Labeyrie, A. – Stachnik, R. V. (1972): Speckle Interferometry: Diffraction-Limited Measurements of Nine Stars with the 200-inch Telescope. *The Astrophysical Journal*, 173:L1–L5. ADS: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1972ApJ...173L...1G>
- Gilliland, R. L. – Dupree, A. K. (1996): HST imaging of Betelgeuse. In: Strassmeier, K. G. – Linsky, J. L. (eds.): *Stellar Surface Structure: Proceedings of the 176th Symposium of the International Astronomical Union*, held in Vienna, Austria, October 9–13, 1995. International Astronomical Union. Symposium no. 176, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers ADS: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1996IAUS..176..165G>

¹ ADS – SAO/NASA Astrophysics Data System

- Glindemann, A. – Bauvir, B. – Delplancke, F. et al. (2001): Light at the End of the Tunnel – First Fringes with the VLTI. *The Messenger*, 104, 2–5. ADS: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/2001Msngr.104....2G>
- Haubois, X. – Perrin, G. – Lacour, S. et al. (2009): Imaging the Spotty Surface of Betelgeuse in the H band. *Astronomy and Astrophysics*, 508, 923–932. DOI: 10.1051/0004-6361/200912927
- Jankov, S. (2010): Astronomical Optical Interferometry. I. Methods and Instrumentation. *Serbian Astronomical Journal*, 183, 1–17. DOI: 10.2298/SAJ1081001J
- Joyce, M. – Leung, S.-C. – Molnár L. et al. (2020): Standing on the Shoulders of Giants: New Mass and Distance Estimates for Betelgeuse through Combined Evolutionary, Asteroseismic, and Hydrodynamic Simulations with MESA. *The Astrophysical Journal*, 902, 63. DOI: 10.3847/1538-4357/abb8db, <https://arxiv.org/pdf/2006.09837.pdf>
- Kervella, P. – Verhoolst, T. – Ridgway, S. T. (2009): The Close Circumstellar Environment of Betelgeuse. Adaptive Optics Spectro-imaging in the Near-IR with VLT/NACO. *Astronomy & Astrophysics*, 504, 115–125. DOI: 10.1051/0004-6361/200912521
- Labeyrie, A. (1970): Attainment of Diffraction Limited Resolution in Large Telescopes by Fourier Analysing Speckle Patterns in Star Images. *Astronomy & Astrophysics*, 6, 85–87. ADS: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1970A%26A....6...85L>
- Levesque, E. M. – Massey, Ph. (2020): Betelgeuse Just Is Not That Cool: Effective Temperature Alone Cannot Explain the Recent Dimming of Betelgeuse. *The Astrophysical Journal Letters*, 891, L37. DOI: 10.3847/2041-8213/ab7935, <https://arxiv.org/pdf/2002.10463.pdf>
- Lopez, B. – Lagarde, S. – Jaffe, W. et al. (2014): An Overview of the MATISSE Instrument – Science, Concept and Current Status. *The Messenger*, 157, 5–12. <http://www.eso.org/sci/publications/messenger/archive/no.157-sep14/messenger-no157-5-12.pdf>
- Michelson, A. A. (1890): Note on the Definition, the Resolving Power and the Accuracy of Telescopes and Microscopes. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 2, 115–117. ADS: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1890PASP....2..115M>
- Michelson, A. A. (1891): Measurement of Jupiter’s Satellites by Interference. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 3, 274–278. ADS: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1891PASP....3..274M>
- Michelson, A. A. – Pease, F. G. (1921): Measurement of the Diameter of α Orionis with the Interferometer. *Astrophysical Journal*, 53, 249–259. DOI: 10.1086/142603
- Monnier, J. D. (2003): Optical Interferometry in Astronomy. *Reports on Progress in Physics*, 66, 789–857. DOI: 10.1088/0034-4885/66/5/203, ADS: <https://arxiv.org/pdf/astro-ph/0307036.pdf>
- Ohnaka, K. – Hofmann, K.-H. – Benisty, M. et al. (2009): Spatially Resolving the Inhomogeneous Structure of the Dynamical Atmosphere of Betelgeuse with VLTI/AMBER. *Astronomy & Astrophysics*, 503, 183–195. DOI: 10.1051/0004-6361/200912247
- Schwarzschild, K. (1896): Über Messung von Doppelsternen durch Interferenzen. *Astronomische Nachrichten*, 139, 353. DOI: 10.1002/asna.18961392302, ADS: <http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1896AN....139..353S>
- Varga J. – Ábrahám P. – Chen, L. et al. (2018): VLTI/MIDI Atlas of Disks Around Low- and Intermediate-mass Young Stellar Objects. *Astronomy & Astrophysics*, 617, A83. DOI: 10.1051/0004-6361/201832599
- Wilson, R. W. – Dhillon, V. S. – Haniff, C. A. (1997): The Changing Face of Betelgeuse. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 291, 819–826. DOI: 10.1093/mnras/291.4.819
- URL1: Lequeux, J.: La mesure du diamètre des étoiles. *Bibnum* [En ligne], Physique, mis en ligne le 01 juillet 2014. <http://journals.openedition.org/bibnum/687>

REZILIENCIA: VÁLTOZÁS ÉS ÁLLANDÓSÁG TÁRSADALMI-ÖKOLÓGIAI RENDSZEREKBE

RESILIENCE: VARIABILITY AND PERSISTENCE IN SOCIAL-ECOLOGICAL SYSTEMS

Kuslits Béla

PhD-hallgató, Budapesti Corvinus Egyetem Gazdaságföldrajz, Geoökonómia és Fenntartható Fejlődés Intézet, Budapest
bela@kuslits.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A társadalmi-ökológiai rendszerek rezilienciája a környezettudományok egyik legjelentősebb területe, az erről szóló diskurzus azonban szegényes a magyar nyelvű tudományos irodalomban. Írásomban a nemzetközi irodalom legfontosabb szerzői és a terület néhány kiemelkedő eredménye alapján adok áttekintést. A rezilienciaelmélet a *komplex adaptív rendszerek* működéséről alkotott tudásunkat igyekszik a gyakorlatban is alkalmazhatóvá tenni, elsősorban a természeti erőforrások menedzsmentjében. A rezilienciaelmélet kiindulópontja annak a felismerése, hogy a társadalmi-ökológiai rendszerek működését nem egyensúly, hanem állandó változékonyság jellemzi, ez a változékonyság pedig nemcsak elviselhető számukra, hanem szükséges is a fennmaradásukhoz. Az ember-természet együttműködés akkor működik jól, ha ezt a meglepetésekre hajlamos működést érti, a szabályozásokban és beavatkozásokban pedig a gyakorlatban is figyelembe veszi. Ezek a meglepetések három csoportba sorolhatók: (1) a rendszer saját előrejelezhetetlen viselkedése, (2) külső hatásokra bekövetkező nemlineáris átalakulások és (3) strukturális tulajdonságok, amelyek képessé teszik a rendszert abszolút újdonságok kezelésére. A társadalmi-ökológiai rendszerek rezilienciaelmélete a hagyományos ökológiai tudás, a részvételi menedzsment és a rendszerelméleti megközelítés együttes alkalmazásában látja a kulcsot ahhoz, hogy hatékony választ tudjunk adni az ökológiai válság kapcsán felmerülő egyre jelentősebb kihívásokra. A COVID-19 járvány látványos példája annak, hogy az ökológiai rendszerek felelőtlen használata váratlan kihívások elé állíthatja az emberiséget. Számos tudományos előrejelzés szerint az ökológiai válság hasonlóan jelentős krízisek sorát fogja okozni a következő évtizedekben. Ezek megértésében és a felkészülésben nyújt alapvető eszközkészletet a rezilienciaelmélet.

ABSTRACT

The resilience of social-ecological systems is one of the most important fields of environmental sciences today, yet in the Hungarian scientific discourse it is rarely discussed in depth. In my essay I summarize the most important results of resilience theory based on the works of the most important authors in this field. Resilience theory applies our knowledge on *complex adaptive*

systems in practice, primarily in natural resource management. The starting point of resilience theory is the recognition of the fact that social-ecological systems are never in an equilibrium state rather in constant change and variation, and this variability is not just something they withstand but essentially they need in order to sustain their existence. This variability can be expected as three basic forms of surprises: (1) the system's own unpredictability, (2) nonlinear changes due to external shocks and pressures and (3) structural attributes that define the adaptive capacity of a system towards completely new challenges. Resilience theory of social-ecological systems concludes that the efficient response to all these challenges lies in the unified application of traditional ecological knowledge, participatory governance and systems-thinking. The COVID-19 pandemic is a striking example of the challenges that may be caused by irresponsible use of ecological systems. According to many scientific predictions, similar challenges are to be expected in the coming decades. Resilience theory provides tools to understand and prepare for such challenges.

Kulcsszavak: reziliencia, társadalmi-ökológiai rendszerek, természetierőforrás-menedzsment

Keywords: resilience, social-ecological systems, natural resource management

BEVEZETŐ

A reziliencia egy rendszer képessége arra, hogy külső sokkok ellenére képes legyen fenntartani struktúráját és funkcióit. A koronavírus-járvány több szempontból is ráirányítja a figyelmünket a reziliencia kérdésre. Egyrészt a járvány és a védekezéshez szükséges intézkedések próbára teszik a társadalom és gazdaság alkalmazkodóképességét rövid távon, másrészt a járvány eredettörténete ráirányítja a figyelmünket arra, hogy az élőhelyek zsugorodása, a fajok kihalásának ökológiai következményei, a klímaváltozás következtében alighanem egyre gyakrabban kell majd a jövőben hasonló kihívásokkal szembesülnünk (Olival et al., 2017). Mit tehetünk a megelőzésért, és mit tehetünk az alkalmazkodásért? Ezekre a kérdésekre keresi a választ a társadalmi-ökológiai rendszerek rezilienciájának elmélete. A rezilienciaelmélet ökológiai alapjait Buzz Holling írta le 1973-ban, munkájára a 21. század elejére a környezettudományok egyik legnagyobb hatású irányzata épül. A természeti erőforrások működési dinamikájáról és az ebből következő menedzsmentelméletekről szóló munkássága meghatározó jelentőségű, ez azonban nemcsak a modell eleganciájának köszönhető, hanem annak is, hogy az ökológiai válság kibontakozásával egyre nagyobb gyakorlati igény van a reziliencia megértésére és alkalmazására: mi tesz képessé egy rendszert arra, hogy váratlan sokkokat átélve is fenn tudja tartani struktúráját és funkcióit? A hazai tudományos diskurzusban a reziliencia csak néhány szerző érdeklődését keltette fel. Lányi András politikafilozófiai megközelítése kritikusan fogadja (Lányi, 2013), míg Buzási Attila és Szalmáné Csete Mária a városi

klímaadaptáció egy hasznos új útjaként hivatkoznak rá (Buzási–Szalmáné Csete, 2018). A reziliencia fogalmának a nemzetközi irodalomban többféle értelmezése létezik. Tanulmányomban ezek közül a *társadalmi-ökológiai rendszerek* rezilienciájáról szóló kutatások néhány kiemelkedően fontos eredményét foglalom össze, amelyek kiindulópontot jelenthetnek a hazai gyakorlati és tudományos alkalmazás számára.

Holling kiindulópontja annak a közkeletű feltételezésnek a megkérdőjelezése volt, hogy a természetes rendszerek alapvetően egyensúlyban vannak, illetve egy bizonyos stabil egyensúlyi állapotra törekszenek. Bár az ökológiai rendszerek tágabb értelemben valóban állandóak (azaz számos tényező összjátéka biztosítja az élőhelyek hosszú távú fennmaradását), mégis, működésüket a folyamatos változás és ingadozás jellemzi, sőt a rendszer fennmaradását részben éppen ez a változatoság szavatolja – létük tehát állandó, állapotuk azonban folyamatosan változik. Az egyensúlyi modell úgy közelíti meg az ökoszisztémákat, mint amelyek a zavarások, sokkok után egy adott egyensúlyi állapotba igyekeznek visszatérni. Holling ezzel szemben azt mondja, hogy a megfelelő zavarások nélkül a rendszer fokozatosan elveszítheti stabilitását, és összeomolhat. Az ingadozás és a véletlenszerű események az ökoszisztémák integráns részei, amelyek fontos szerepet játszanak abban, hogy fennmaradjanak, ez a fennmaradás azonban egyben a folyamatos belső változás fennmaradását is jelenti (Holling, 1973). Ez az elméleti megközelítés jelentős gyakorlati következményekkel is jár. A *maximális fenntartható hozam* (maximum sustainable yield, MSY) számítását például számos megújuló erőforrás menedzsmentjében alkalmazzák annak érdekében, hogy ezzel elkerüljék az ökoszisztéma eltartóképességén felüli terhelését (Kerekes et al., 2018) – mivel azonban az eltartóképesség maga is ingadozik, Holling szerint egy ilyen statikus elv alkalmazása összeomláshoz vezethet a gyakorlatban.

TÁRSADALMI-ÖKOLÓGIAI RENDSZEREK

Az ökológiai rendszerek stabilitásának kérdését tovább árnyalja, hogy csak akkor tudjuk megfelelően tárgyalni, ha társadalmi-ökológiai rendszerekként tekintünk rájuk, azaz nem pusztán a földrajzi elhelyezkedés, illetve a flóra és fauna változatos interakcióit vizsgáljuk, hanem a társadalmi-ökológiai interakciókat is a rendszer részeként tekintjük (Westley et al., 2002). Az ökológiai rendszerek nem a társadalomtól független, zárt struktúrák, amelyeket kívülről irányítani tudunk, még a nagymértékben mesterséges agrár-ökoszisztémák sem állnak teljes mértékben az ember kontrollja alatt. Az ember számos társadalmi-ökológiai interakcióban vesz részt, amelyek a teljes rendszer egy-egy elemével jelentenek kapcsolatot (például: vadászat, egy ültetvény telepítése). Ezek-

nek a kontextusát határozzák meg a tisztán társadalmi (például intézményi) és tisztán ökológiai (például predációs) kapcsolatok. A rendszer egészét senki sem kontrollálja, hanem a részek összességéként jelenik meg a társadalmi-ökológiai rendszer komplex önszabályozó működése (Schlüter et al., 2019).

A társadalom működése azonban stabilitást igényel. Az ökológiai stabilitás tette lehetővé a mezőgazdaság megszületését évezredekkel ezelőtt – és ezzel a civilizációk fejlődését az ókortól napjainkig. A stabilitás többféleképpen is értelmezhető, a mai agrárrendszerekben azonban egyértelműen az a szemlélet van többségben, amely egyetlen faj biológiai produktívjának maximalizálására törekszik, és válogatott eszközökkel igyekszik a külső hatásokat semlegesíteni (tápanyagpótlás, kártevőirtás, belvízlevezetés stb.). Ez a megközelítés a rendszer normál változatosságának kiiktatására törekszik, ami hosszabb távon megrevvé és törékennyé teszi (rigidity trap), és amelynek fenntartása egyre drágább lesz (Carpenter–Brock, 2008). A természetes rendszereket egyetlen erőforrás maximális szolgáltatására kényszerítő gazdálkodási és szabályozási szemlélet azonban számos esetben váratlan, gyors és nehezen visszafordítható összeomlásokhoz vezetett (Carpenter et al., 2001; Walker et al., 2009).

A rezilienciairányzat célja annak a megértése, hogy hogyan lehet megvalósítani, illetve újraértelmezni a stabilitás igényét úgy, hogy az a társadalmi-ökológiai rendszerek komplex működését valóban figyelembe véve alkalmazkodjon az elkerülhetetlen változékonysághoz is. Ez az újraértelmezett stabilitás nem jelent olyan megbízhatóan egyenletes, óraműszerű dinamikát, ami gazdasági-elméleti szempontból talán leginkább kívánatos lenne, ugyanakkor képes felkészíteni arra, hogy ne történjenek hirtelen, nemegyszer visszafordíthatatlan összeomlások. Reziliencia szempontból a természeti erőforrás-menedzsment alapvetően arról szól, hogy három különböző típusú meglepetésre készíti fel a rendszer szereplőit (Berkes et al., 2003). A *meglepetés* ebben a kontextusban olyan eseményt jelent, amelynek a bekövetkezése valamekkora valószínűséggel várható, a bekövetkezés időpontja azonban nem jelezhető előre. Az első típus a rendszer saját változékonyságának következménye, ilyen például az árvíz egy folyón. A második típus az úgynevezett *kritikus átmenetek* esete, amikor a rendszer, ami korábban kvázi lineáris választ adott valamilyen külső hatásra, hirtelen ugrásszerű változást mutat, amelyben a rendszer egész működése rövid idő alatt átrendeződik (Scheffer et al., 2001). A harmadik típus az „ismeretlen ismeretlenek” esete. Az olyan eseményeké, amelyek ugyan elvileg láthatók előre, mégsem gondol senki rájuk: erre példa lehet az e sorok írásakor zajló COVID–19 járvány, az olyan események, mint a ciánszennyezés volt a Tiszán 2000-ben, vagy az ajkai vörösiszap katasztrófa 2010-ben.

ERŐFORRÁS-MENEDZSMENT BIZONYTALAN KÖRNYEZETBEN

A három meglepetés más és más megközelítést igényel. A társadalmi-ökológiai rendszer változékonysága úgy integrálható, hogy rugalmasan, a döntéshozatal minden szintjén figyelembe veszi azt a tényt, hogy az egyes beavatkozások hatása nem jelezhető előre teljes biztonsággal. Holling szerint a helyes természeti erőforrás-menedzsment előírásai *hipotézisek*, beavatkozásai pedig *kísérletek* a hipotézisek tesztelésére (Holling–Meffe, 1996). Ez a megközelítés számos esetben részvételi megoldásokkal kivitelezhető leginkább, alapvetően két okból. Egyrészt, a különböző tájhasználati formák más és más módszerek, kérdések és célok mentén működnek, így a különböző nézőpontokat integráló intézeti megoldások képesek lehetnek a tájban zajló folyamatok egy olyan komplex interpretálására, amely tudományos adatgyűjtéssel nem kivitelezhető. Másrészt, a sok helyütt még fellelhető hagyományos ökológiai tudás jellegénél fogva alkalmazkodásra fókuszáló tudást halmozott fel nagyon hosszú idő alatt, ezért képes lehet olyan eseményekre is reagálni, amelyek egy emberöltőnél ritkábban fordulnak elő, mégis az ökológiai rendszer működéséhez tartoznak. A hagyományos tudás integrálása nem valamiféle archaikus társadalmi berendezkedés erőltetését jelenti, hanem azt, hogy ez a kevésbé formális tudásrendszer is beépül a modern döntéshozatali folyamatokba az egyébként is széles körben javasolt részvételi megoldások segítségével (Folke et al., 2005; Molnár et al., 2016). Az adaptív menedzsment tehát megteremti azt az intézményi keretet, amelyben a természeti folyamatok változékonysága észlelhető és értelmezhető, ezáltal lehetséges alkalmazkodni hozzá. Ez jelentheti azt, hogy azonos gazdasági hasznot egészen más döntésekkel érhetünk el különböző években, de azt is, hogy elfogadva a természetes rendszerek változékonyságát, nem várhatjuk el, hogy a rendszer gazdasági termelékenységé minden évben ugyanakkora legyen.

A kritikus átmenetek olyan változások, amelyekben a társadalmi-ökológiai rendszer működési logikája alakul át, a rendszer normál folyamataihoz mérve rendkívül gyorsan. A működési logika átalakulása azt jelenti, hogy visszacsatolási folyamatok megszűnnek, vagy létrejönnek, kimerülnek pufferek, új interakciók jönnek létre, új szereplők jelennek meg a rendszerben stb. Általánosságban szólva a rendszert alkotó elemek kapcsolatai alakulnak át. Mindezekre igaz az, hogy olyan hatások váltják ki a hirtelen változást, amelyek korábban is jelen lehettek a rendszerben, azonban nem volt drámainak mondható hatásuk (Kuslits, 2015). Azon tényezők összességét nevezzük *rezilienciának*, amelyek képesek voltak ezen hatások jelenléte ellenére a normál konfigurációban tartani a rendszert. A reziliencia azonban nem lehet korlátlan. A társadalmi-ökológiai rendszer képes alkalmazkodni az új külső hatásokhoz, amikor azonban az alkalmazkodóképesség eléri határait, hirtelen változás történik. Az ilyen változások egyik tankönyvi példája a sekély édesvízi tavak eutrofizációja, amely

a Balatonban is lezajlott a 20. század második felében. A tó egy darabig képes volt arra, hogy a bejutó foszfortartalmú szennyező anyagokat az üledékben kémiai kötésbe vigye, és ezáltal alacsonyan tartsa koncentrációját a vízben. A tó vize ennek a kapacitásnak köszönhetően akkor is tiszta maradhat, ha egyébként intenzív mezőgazdaságból vagy más forrásból jelentős terhelés éri évtizedeken keresztül – amint ez a Balatonnal is történt az 50-es évektől kezdve. Amikor az üledék foszfortároló kapacitása kimerül, egy-két év alatt drámai változás történik: a víz zavaros lesz, növényvilágát döntő többségben lebegő algák alkotják, a víz oxigénkoncentrációja lecsökken, számos állat elpusztul, a turizmus összeomlik. A csökkenő oxigénkoncentráció következtében még az a foszfor is felszabadul, ami korábban kötésben volt, ezzel az eutrofizált állapotot stabilizáló új visszacsatolás lép működésbe, és a szennyezés megszüntetése ellenére is fennmarad az új stabil állapot (Somlyódy–Straten, 1986). Bizonyos helyzetekben hasonló átalakulásokat okozhat számos társadalmi és ökológiai tényező, például az inváziós fajok betelepülése, a birtokszerkezet átalakulása, az öntözés, a piaci viszonyok átalakulása és természetesen mindenképp a klímaváltozás is.

A kritikus átmenetek elkerülésében kiemelkedő az úgynevezett *lassú változók* szerepe. A lassú változók a társadalmi-ökológiai rendszerek legalapvetőbb strukturális sajátosságait jellemzik. Lassúak, mert jellemzően sok visszacsatolás és nagy kapacitású puffer kapcsolódik hozzájuk, ami stabilizálja őket, ezért értékük a rendszer többi változójához képest sokkal lassabban változik – időnként állandónak is tekintjük őket, ha nem akarunk hosszú távon gondolkodni. Lassú változó lehet például egy társadalom átlagéletkora, a légkör CO₂ koncentrációja, egy faj szaporodási rátája, a talajvízszint stb. Ha ezek a változók gyors ütemben változnának, annak nehezen megjósolható, de mindenképpen nagyon jelentős következményei lennének. A reziliencia a rendszer képessége arra, hogy a lassú változókat stabilan tartsa. Minél több módja van a lassú változók stabilizálásának, annál biztosabb, hogy a rendszer egy sokk után képes lesz visszarendeződni a korábbi működésmódjába, képes lesz ugyanazokat az ökoszisztéma szolgáltatásokat nyújtani, mint korábban. A biodiverzitásnak kiemelkedően fontos szerepe van a reziliencia megőrzésében, hiszen ez a legfőbb forrása a *funkcionális diverzitásnak és redundanciának* egy társadalmi-ökológiai rendszerben. A funkcionális diverzitás mellett a modularitás, a hálózatoság, a beavatkozásokhoz kapcsolt szoros visszacsatolások és a tanulás képessége a reziliencia legfontosabb forrásai (Walker–Salt, 2006).

A meglepetések harmadik típusába tartoznak az úgynevezett ismeretlen ismeretlenek, soha nem látott vagy nagyon ritka események. A velük való megküzdési képesség, az általános reziliencia. Nem könnyű vállalkozáselemzési vagy menedzsmentkeretet kidolgozni egy olyan jelenségre, amelyet nem ismerünk. Az általános reziliencia tudományos irodalma ennél fogva jóval kevésbé kiterjedt,

mint az előző két pontban tárgyalt specifikus¹ rezilienciáról szóló tudásunk. Ezzel együtt múltbéli váratlan események tanulmányozásával és a vizsgált rendszer működésének elemzésével azonosíthatók olyan pontok, amelyek mindenképpen döntőek a rendszer hosszú távú fennmaradása szempontjából. A rendkívüli helyzetek megértéséhez az egyik fontos hozzájárulás a rezilienciaelmélet részéről az, hogy a háborítatlan működés közben megértett rendszerműködés összefüggései ugyanolyan fontosak a helyreállítás lehetőségei szempontjából, mint a sokk megismerése, illetve a háborítatlan működést is meghatározzák a sokkok idején kialakult működési minták. A lassú változók azonosítása bármilyen társadalmi-ökológiai rendszerben lehetséges, és azonosíthatjuk azokat a tényezőket is, amelyek a stabilitásukhoz hozzájárulnak. A második fő kérdés az általános reziliencia szempontjából az, hogy mit tehetünk a gyors alkalmazkodásra való képesség érdekében? Az oktatás, az innováció, a nem szokványos megoldások elfogadása, a részvételi döntéshozatalt ismerő adminisztratív folyamatok mind segítik az új megoldások gyors tesztelését. Ezeken felül a magas ökológiai és társadalmi diverzitás, a moduláris vagy redundáns szerkezet, a többközpontú döntéshozatal, a hiteles információk elérhetősége és a bizalom azok a tényezők, amelyeket a legtöbb szerző az általános reziliencia kulcsának tekint.

Az általános rezilienciát jelentősen csökkenti, ha a rendszer erősen optimalizált valamilyen célra, vagy magas tűrőképességet fejlesztett ki valamilyen terheléssel szemben. Bár ez az utóbbi a reziliencia egy formájának is tekinthető, a túlzott optimalizáció a válaszok diverzitását korlátozza, a rendszer túl sok erőforrását rendeli alá egyetlen célnak. Az általános reziliencia célja, hogy (1) a rendszer képes legyen gyors választ adni egy váratlan eseményre, (2) legyenek erőforrásai, amikor átmenetileg nem működnek a normál működés bizonyos csatornái, és (3) képes legyen az elérhető lehetőségek számát fenntartani mind normál időben, mind krízis idején. Egy sokk esetén a válasz képességét erősen befolyásolja az idő. Minél gyorsabban helyre tud állni a rendszer, jellemzően annál könnyebb is ez a folyamat. Ha egy krízis hosszú ideig fennáll, az önmagában is erodálja a kreativitást és a megoldások megvalósíthatóságát. Ezzel együtt a gyors, rész-kérdésekre fókuszáló megoldások gyakran csak áttolják a problémát máshova (Carpenter et al., 2012). Az általános reziliencia számos tényező számbavételét és bölcs menedzsmentjét kívánja egyszerre, ami még lokális szinten is nagy kihívás, a globális ökológiai problémák azonban sokszor igen nehezen feloldható *trade-off*okat jelentenek, amelyekhez nagy kreativitás és újszerű intézményi megoldások szükségesek (Walker et al., 2009).

Ma még korai lenne reziliencia szempontból átfogó értékelést adni a COVID–19 elleni védekezésről. Az azonban már ma is egyértelmű, hogy hasonló kihívások sora vár az emberiségre a globális ökológiai válság következményeként. A rezi-

¹ ADS – SAO/NASA Astrophysics Data System

liencia szempontjai a stratégiai gondolkodás részévé kell hogy váljanak a következő évtizedekben, ez lesz az a képesség, ami egy településtől a kontinentális léptéki meghatározza, hogy mennyire lesz élhető az a világ, amelyben a jövő generációk felnőnek.

IRODALOM

- Berkes F. – Colding, J. – Folke, C. (eds.) (2003): *Navigating Social-Ecological Systems - Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press
- Buzási A. – Szalmáné Csete M. (2018): Fenntartható fejlődés és klímaváltozás – globális összefüggések lokális értelmezése. *Magyar Tudomány*, 179, 9, 1349–1358. DOI: 10.1556/2065.179.2018.9.8, https://mersz.hu/hivatkozas/matud_f10360#matud_f10360
- Carpenter, S. – Arrow, K. – Barrett, S. et al. (2012): General Resilience to Cope with Extreme Events. *Sustainability*, 4, 12, 3248–3259. DOI: 10.3390/su4123248, <https://academiccommons.columbia.edu/doi/10.7916/D8JM29GZ>
- Carpenter, S. R. – Brock, W. A. (2008): Adaptive Capacity and Traps. *Ecology and Society*, 13, 2. 40. https://pdfs.semanticscholar.org/49f6/2fff7c53d3ccel16e8b3f7c7021fc8aab4724.pdf?_ga=2.36898208.1889825219.1603177651-1466882280.1602231906
- Carpenter, S. R. – Walker, B. – Anderies, J. et al. (2001): From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, 8, 765–781.
- Folke, C. – Hahn, T. – Olsson, P. et al. (2005): Adaptive Governance of Social-ecological Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 1, 441–473. DOI: 10.1146/annurev.energy.30.050504.144511, https://www.researchgate.net/publication/228662276_Adaptive_Governance_of_Social-Ecological_Systems
- Holling, C. S. (1973): Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1, 1–23. <https://core.ac.uk/download/pdf/52941869.pdf>
- Holling, C. S. – Meffe, G. K. (1996): Command and Control and the Pathology of Natural Resource Management. *Conservation Biology*, 10, 2, 328–337. <https://faculty.washington.edu/stevehar/sust-meffe.pdf>
- Kerekes S. – Marjainé Szerényi Zs. – Kocsis T. (2018): *Sustainability, Environmental Economics, Welfare*. Budapest: Corvinus University of Budapest, <http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/3658/>
- Kuslits B. (2015): Reziliencia társadalmi és ökológiai rendszerekben. *Alkalmazott Pszichológia*, 1, 27–41. DOI: 10.17627/ALKPSZICH.2015.1.27, http://ap.elte.hu/wp-content/uploads/2015/07/AP_2015_1_Kuslits.pdf
- Lányi A. (2013): Morális klímaváltozás. *Magyar Tudomány*, 174, 7, 820–829. <http://www.matud.iif.hu/2013/07/07.htm>
- Molnár Zs. – Kis J. – Vadász Cs. et al. (2016): Common and Conflicting Objectives and Practices of Herders and Conservation Managers: The Need for a Conservation Herder. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4. DOI: 10.1002/ehs2.1215, <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ehs2.1215>
- Olival, K. J. – Hosseini, P. R. – Zambrana-Torrel, C. et al. (2017): Host and Viral Traits Predict Zoonotic Spillover from Mammals. *Nature*, 7660, 646–650. DOI: 10.1038/nature22975, <https://www.nature.com/articles/nature22975>
- Scheffer, M – Carpenter, S. R. – Foley, J. A. et al. (2001): Catastrophic Shifts in Ecosystems. *Nature*, 11, 591–596. DOI: 10.1038/35098000, <http://www.gatsby.ucl.ac.uk/~pel/environment/catastrophe.pdf>

- Schlüter, M. – Haider, L. J. – Lade Steven, J. et al. (2019): Capturing Emergent Phenomena in Social-Ecological Systems: An Analytical Framework. *Ecology and Society*, 24, 3. DOI: 10.5751/ES-11012-240311, <https://openresearch-repository.anu.edu.au/handle/1885/200937>
- Somlyódy L. – van Straten, G. (1986): *Modeling and Managing Shallow Lake Eutrophication: with Application to Lake Balaton*. Berlin: Springer
- Walker, B. – Barrett, S. – Polasky, S. et al. (2009): Looming Global-Scale Failures and Missing Institutions. *Science*, 325, 5946, 1345–1346. DOI: 10.1126/science.1175325
- Walker, B. H. – Abel, N. – Anderies, J. M. – Ryan, P. (2009): Resilience, Adaptability, and Transformability in the Goulburn-Broken Catchment, Australia. *Ecology and Society*, 14, 1. <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art12/ES-2008-2824.pdf>
- Walker, B. H. – Salt, D. (2006): *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*. Washington, DC: Island Press, https://www.researchgate.net/publication/40777432_Resilience_Thinking_Sustaining_Ecosystems_and_People_in_A_Changing_World
- Westley, F. – Carpenter, S. R. – Brock, W. A. et al. (2002): Why Systems of People and Nature Are Not Just Social and Ecological Systems. In: *Panarchy*. Washington, DC.: Island Press, 103–119.

ÚJSZÜLÖTTKORI SZŰRŐVIZSGÁLATOK SMA-BETEGSÉGRE

NEWBORN SCREENING FOR SMA DISEASE

Bartos Blanka

dr. jur., LL.M., egyéni felkészülő PhD-hallgató, Szegedi Tudományegyetem Állam- és Jogtudományi Kar, Szeged
blankab93@gmail.com

ÖSSZEFOGLALÁS

Minden tízezredik gyermek SMA-betegséggel jön a világra, közülük a fele nem éli meg a második születésnapját. Ez egy örökletes genetikai betegség, ahol az izmok idővel elhalnak. Azonban, ha rögtön a születés után diagnosztizálni tudják, akkor a csecsemő hozzájuthat a legmodernebb gyógyszerekhez, amivel szinten tudják tartani a még nem romló állapotát. Ezzel esélye lehet a jövőre, a felnőtté váláshoz. A Down-kórral ellentétben az SMA-t már a terhesség előtt ki lehet küszöbölni azzal, hogy megnézik, hogy a szülők hordozói-e a betegségnek. Zente babának köszönhetően egész Magyarország megismerte az SMA-t, és mielőbbi reformokat szorgalmaznak a szűrésére. Ausztrália és Németország már felismerte a vizsgálat jelentőségét, az Egyesült Államok azonban már évekkorábban be is vezette. A többi nemzetnek hasonló lépéseket lenne ajánlatos megtennie, hogy elősegítse a megfelelő családtervezést és hogy a beteg gyermekeknek szebb jövőt és jobb életfeltételeket biztosíthasson.

ABSTRACT

One in every 10,000 children is born with SMA and half of them cannot even live for 2 years. It is a hereditary genetic disorder, where the muscles die. If it is discovered just after birth, new-borns can get the newest medicaments to maintain their condition. Unlike another common genetic disease, the Down syndrome, SMA can be screened before pregnancy whether the parents are carriers. In Hungary, people urge for reform already, owing to toddler Zente's case whose condition got known by millions. Australia and Germany have also discovered the necessity of the screening. However, the US has already started the introduction of newborn screening for SMA years ago, going far ahead of the European countries. National policies should step on the same path to contribute to an appropriate family planning, and to make the treatment available as soon as it is needed in order to provide a longer and better life for sick infants.

Kulcsszavak: újszülöttkori szűrés, genetikai betegség, SMA, családtervezés, egészségügy

Keywords: newborn screening, genetic disease, SMA, family planning, health policy

Az újszülöttkori vizsgálatok az 1960-as évek óta mentenek életeteket. Ez idő óta a tesztelt betegségek listája folyamatosan bővül, a legújabb az Amerikában nemrég alkalmazni kezdett SMA-szindróma szűrése. Ha optimisták és türelmesek vagyunk, bízhatunk abban, hogy az egészségügyi szabályozások együtt fejlődnek a technológiával, azonban mindig kell hogy legyen egy pionír ország, amely megteszi az első lépéseket, hogy a többi országot is erre sarkallja. Bizonyítsa, hogy igen, lehetséges és szükségszerű ez irányba haladni. Mint ahogy az Egyesült Államok és Ausztrália példáján is láthatjuk, e fontos célhoz anyagi keretet biztosítottak, és új jogszabályokat hoztak meg. Most Európán a sor, hogy hasonló intézkedéseket hozzon.

AZ SMA-BETEGSÉGRŐL

Az SMA (spinal muscular atrophy) magyarul gerincvelő eredetű izomsorvadás, amit az SMN1-gén mutációja vagy hiánya okoz. Egészséges emberekben ez az izmok mozgásáért felelős fehérjét termeli, nélküle az izmok elgyengülnek, majd elhalnának. A betegség akkor válik életveszélyessé, amikor a létfenntartó szervek izmai nem tudnak megfelelően működni, mint például a tüdő, a szív vagy az emésztőszervek rendszere. Mindazonáltal, a betegség nincs hatással az agyi funkciókra, a betegek tökéletes mentális egészségnek örvendenek (URL1).

Az SMA-szindrómával rendelkezőket négy súlyossági típusba sorolják. Az 1-es a leggyakoribb, az SMA-s betegek 60%-a ide tartozik, és sajnos ők szorulnak leginkább segítségre is. A tünetek a születés utáni első hat hónapban jelentkeznek, és megfelelő kezelés nélkül a várható élettartam két év. A gerincvelő eredetű izomsorvadás bárkinél előfordulhat, fajra és nemre való tekintet nélkül. Az Egyesült Államokban ez a vezető gyermekhalálozási ok, átlagosan 11 000 újszülöttből egy születik SMA-sként. Minden ötvenedik amerikai hordozója a betegségnek, amit DNS-teszttel könnyen ki lehet deríteni. Ha két hordozó szülő családot szeretne alapítani, 25% esélyük van arra, hogy beteg gyermekük fog születni – tudhatjuk meg ezeket az információkat a Cure SMA honlapjáról (URL2).

ZENTE BABA

Nehéz lenne olyan embert találni Magyarországon, aki ne hallott volna Zentéről. 2019 szeptemberében több mint 700 millió forint összegyűjtését kísérelték meg a kisfiú szülei, hogy hozzájuthassanak a Zolgensma nevű gyógyszerhez (URL3). Ez jelenleg a világ legrágább kezelése, egyben a legmodernebb is az

izomsorvadásra. A sikeres kampány eredményeként Zente esélyt kaphatott egy jobb jövőre. Az adománygyűjtés másik pozitív hatása, hogy a médián keresztül egy ország ismerhette meg az SMA-betegséget. Az embereket érzékenyen érintik a beteg gyermekek, akik nem maguk felelősek az állapotukért, így nagy a társadalmi nyomás a genetikai betegség előszűrésére és a gyógy mód elérhetővé tételére.

Zente egészséges babaként látta meg a napvilágot 2018. február 28-án, 3470 grammal és 47 cm-el. A szülés gyorsan és komplikációmentesen zajlott, az újszülött 9-10 Apgar-értéket kapott (a 10-es skálán). Azonban, amint hazaért a család az otthonukba, Zente fejlődése nem ment zökkenőmentesen. A széklettel a kezdetektől fogva gondok voltak, a fejét sem tudta megtartani, majd amikor a hasról hátra fordulásnak kellett volna következni a fejlődéstörténetben, az is váratott magára. A gyógytorna segített egy darabig, de a kisfiú megrekedt egy szinten. Annak ellenére, hogy azt javasolták, legyenek türelmesek, a tornának idő kell, mire látszik az eredmény, Zente anyukája specialistához fordult. A neurológusi vértesztből kiderült, Zente SMA-ban szenved. Szerencséjükre korán diagnosztizálták a betegséget, Zente fél éves sem volt a kórkép felállítása-kor, de ez a türelmetlenségüknek és az anyai ösztönnek köszönhető. Sem a heti védőnői látogatás, sem a gyerekorvos vagy a gyógytornásznál töltött órák nem volt elegendőek arra, hogy egy szakmabeli ember gyanút fogjon. Azonban Zente családjá nem neheztel az orvosokra, inkább a rendszerben látják a hibát. Más SMA-s gyermekek szüleivel együtt azon dolgoznak, hogy az újszülöttek véréből vett DNS-tesztet mielőbb bevezessék hazánkban is. Ugyanis minél előbb fedezik fel a genetikai betegséget, annál nagyobb az esély arra, hogy elkezdhesék a kezelést, és a tüneteket visszaszorítsák, vagy lassítsák azok megjelenését. Habár a tudomány mai álláspontja szerint a genetikai eredetű izomsorvadás nem gyógyítható, gyógyszeres kezeléssel 90%-os szinten tartást lehet elérni, így a beteg teljes életet élhet.

Zente családja már így is nagy eredményt ért el az SMA-s betegek érdekében a magyar államnál. Az Országgyűlés megszavazta, hogy bármely 18 év alatti gyermek megkaphatja a legmodernebb, Spinraza nevű kezelést, amit eddig csak különös elbírálás alapján ítélték oda a magas ára miatt (URL4). A mai napig 54 magyar gyermek juthatott hozzá a Spinrazához ingyenesen ahelyett, hogy 500 000 eurót kellett volna kifizetniük (URL5) – amit egy átlag család nem tudna finanszírozni. Ha az Országgyűlésnek egy hónap elég volt ahhoz, hogy új törvényt hozzon meg, és változtasson az egészségügyi költségvetésen, talán a betegség megelőzésére is érdemes lenne fordítani a forrásokból, hogy utána kevesebbet kelljen költeni a kezelésre. Mindent együttvéve azonban Magyarország jó úton halad, mert az Egyesült Államokban, Franciaországban és Ausztráliában még mindig egyéni elbírálás alapján ítélik oda a Spinraza-készítményt, Németországban viszont szintén feltétel nélkül.

ÚJSZÜLÖTTKORI SZŰRŐVIZSGÁLATOK

Amennyiben a jövőbeli szülők tudatában vannak annak az információnak, hogy ők SMA-hordozók, vagy a családjukban előfordult már hordozó, illetve beteg személy, lehetőségük van a teherbeesést megelőzően vérvizsgálatot csináltatni, vagy a fogantatás után magzatvíz mintavételére. Egyéb esetben a szülőknek várniuk kell a betegség első jeleinek megjelenéséig, hogy SMA-ra végeztesse a gyermekét. Azonban a kutatások kimutatták, hogy minél hamarabb fedezik föl a génhibát, annál jobb eséllyel lehet szinten tartani gyógyszeres és mozgásfejlesztéses terápiával az izomzatot. Éppen ezért 2018 óta huszonhárom amerikai állam végez SMA-tesztet az újszülöttek szűrővizsgálatákor. Tizenhárom további állam tervezi a következő két évben rendszeresíteni a vizsgálatot, három másik állam pedig tárgyalásokat folytat jelenleg ez ügyben. Az államoknak nincsen nehéz dolguk a tesztek elvégzéséhez szükséges eszközök beszerzését illetően, a szokásos Guthrie-kártya, amin egyidejűleg más betegségek tesztjét is végzik a csecsemők sarkából vett vérből, teljesen megfelelő erre a feladatra (URL6).

Az Egyesült Államokhoz hasonlóan Ausztráliában is 2018-ban vezették be az SMA újszülötkori szűrését (Kariyawasam et al., 2020, 557–565.). Egyelőre csak egy kétéves program keretén belül végzik a tesztet, de remélik, hogy jövőre sem kell leállniuk vele a pozitív statisztikákra hivatkozva. Több mint 100 000 csecsemőt vizsgáltak, és tíznél kiderült, hogy SMA-pozitív.

Németországban két szövetségi állam összefogásával indult el az úttörő projekt, ahol egy éven át tesztelik Bavaria és Észak-Rajna-Vesztfália újszülöttjeit (Will et al., 2019). 165 525 esetből huszonkettő lett pozitív a 2018-as évben. Ezt látva arra ösztönzik a többi fejlett országot, és természetesen saját országukat is, hogy állami szinten vezessék be az SMA születés utáni szűrését.

Franciaországban, noha nekik van a világon az egyik legfejlettebb egészségügyi rendszerük, az SMA-t nem szűrik – még. Jelenleg tizenhárom betegségre végeznek vérvizsgálatot, és további tizenhét fog bővülni a lista 2023-ra, azonban az SMA nem tartozik közéjük. Nem várhatunk gyors változást ezen a területen, hiszen 2011-ben a Francia Egészségügyi Hatóság ajánlást tett az MCAD szűrésére, és csak kilenc évvel később, idén fogadták azt el (URL7). Ez egy örökletes anyagcsere-betegség, ahol a szervezet nem tudja felhasználni a zsírt. Noha az újszülöttek tünetmentesek, kezelés hiányában a kór hamar kómához vagy halálhoz vezethet.

Magyarországon a '70-es évek óta vesznek az újszülöttektől vért különböző betegségek szűrése végett, és a 2007-es évtől ezt kötelezővé is tették. Jelenleg huszonhat anyagcsere-betegséget szűrnek hazánkban, ami átlag felettinek számít Európában, azonban az Egyesült Államokban negyven rendellenességre tesztelnek. Szőnyi László, az Anyagcsere Központ vezetője szerint kulcsfontosságú,

hogy még az első tünetek megjelenése előtt kiszűrjék a genetikai betegségeket, ezzel is megelőzve a visszafordíthatatlan fizikai vagy pszichikai károsodást (URL8). A legtöbb ilyen kórt könnyű és olcsó kezelni, legtöbbször már az étrendbeli változás vagy bizonyos vitaminok szedése is javíthat a beteg állapotán. Az újszülöttek vérvételével körülbelül 60 000 születésből hatvan életet mentenek meg (URL9).

Mind Magyarország, mind Németország a cisztás fibrózis szűrését adná hozzá az újszülöttek vértesztjéhez a közeljövőben. Az Egyesült Államok ebben is elöttünk jár, mind az ötven állam kötelezően szűri ezt a tüdő- és emésztőrendszeri betegséget. A világon 70 000 regisztrált beteget tartanak nyilván, csaknem felük az USA-ban él. Körülbelül ezer új beteg születik évente, 75%-ukat kétéves koruk előtt diagnosztizálják. Habár sajnos még nem találták meg a gyógyírt a cisztás fibrózisra, különböző kezelésekkel jelentősen javítani lehet a betegek élettartamán.

A betegek nagy száma miatt is elsősorban a cisztás fibrózisra koncentrálnak az országok, szűrésének bevezetése egyelőre fontosabb, mint az SMA-é. Európában közel 40 000 esetről tudnak, ebből 560 magyar. Habár az SMA-betegek regisztrációja nem annyira pontos, mint a cisztás fibrózisban szenvedőké, hivatalosan 10–25 ezer közé tehető a betegek száma Amerikában, és 120–300 közé Magyarországon.

SMA-HORDOZÓK SZŰRÉSE

A genetikai betegség hordozójának felderítése legalább annyira fontos lenne, mint maga a betegség kiszűrése, azonban ezt még kevésbé alkalmazzák az országok. Egy nőnek több lehetősége adódik a terhességével kapcsolatban, ha tudja, hogy hordozó (URL10) – hangsúlyozza az Amerikai Szülészek és Nőgyógyászok Szövetsége. Ha a partnere szintén hordozó, és nem akarják kockáztatni azt a 25%-ot, hogy beteg gyermekük születik, választhatnak a mesterséges megtermékenyítés vagy a lombikprogram közül, ahol az orvosok kiválasztják az egészséges ivarsejteket (Norrgard, 2008). Ha ezt nem vállalják, vagy egészségügyi okokból nem lehetséges, az örökbefogadás mellett is dönthetnek. Ha mégis természetes úton fogant meg gyermekük, a magzatvízből vett minta alapján is megállapítható, hogy a magzat SMA-pozitív-e. Ebben az esetben nehezebb döntéssel állnak szemben a jövőbeli szülők, hogy folytassák-e a terhességet. Van, aki a terhesség megszakítása mellett dönt, mások az örökbeadást választják. Ha végigvizsgálják a terhességüket, jobb esetben egy életen át segítségre szoruló gyermeket vállalnak, rosszabb esetben a csecsemőből sosem lesz felnőtt.

Ha az újszülöttek szűrése kötelező volna, akkor a most született csecsemők tervezésekor már nem lenne szükség a hordozói szűrésre. Így az államnak csak ideiglenesen, néhány évtized erejéig lenne szüksége a bevezetésére. Mindazonáltal,

a jelen korban ez hiánypótló. Amerikában csak azoknak az embereknek van rá lehetőségük, akiknek előfordult már a családjában SMA-beteg, illetve -hordozó. Ez csak a párok 2,6%-át szűri ki, azonban a világon minden ötvenedik személy SMA-hordozó (Prior et al., 2008). Ez a nagy előfordulási arány indokolná, hogy bárki számára ingyenesen elérhetővé váljon a teszt. Európában csak Spanyolországban, Portugáliában és Olaszországban van erre lehetőség. Németország, Ausztria, Hollandia és Svédország terhesség alatt ajánlja fel a nőknek az SMA szűrését, ahol egyúttal a szülő hordozói mivolta is megállapításra kerül.

A DOWN-KÓR SZŰRÉSE

A Down-szindróma szűrése a terhesség alatt sokkal elterjedtebb, mint az SMA szűrése, mivel tízszer gyakoribb az előfordulása. Minden ezredik születendő gyermeket érint, Amerikában ez az arány még magasabb, hétszáz születésenként fordul elő a Down-kór, így évente hatezer beteg gyermek születik csak az Egyesült Államokban. A veleszületett rendellenességek 8%-át teszi ki a 21-es triszómia, ezzel a világ leggyakoribb genetikai betegsége. Az újszülöttkori vérvételnek nincs nagy jelentősége, mivel szabad szemmel is láthatóak a jelek a csecsemő testén, így inkább csak megerősítésképpen végzik el a tesztet (URL11). Viszont, a várandósság alatt annál inkább fontos erre figyelni, hogy a szülőknek meglegesszen a döntési lehetőségük. Az SMA-nál nincsenek a szülés után látható jelei a betegségnek, így abban az esetben sokat javíthat a beteg állapotán, ha már a kezdetekkor fény derül rá. Másik különbség a két kór között, hogy az SMA örökletes, így már a fogantatás előtt el lehet kerülni, hogy beteg gyermek szülessen. A Down-szindróma a magzat fejlődése közben alakul ki, és ennek valószínűsége összefügg az anya életkorával. Mivel a továbbtanulás miatt egyre inkább kitolódik a nők teherbeesésének ideje, így a Down-szindróma terhesség alatti szűrésére is nagyobb hangsúly helyeződik. Példának okán, 1990-ben tízezer születésből tizenhatan voltak Down-kórosak, míg 2015-re ez a szám huszonháromra nőtt. Az országok többsége (ideértve Magyarországot, az USA-t és Ausztráliát) a terhesség alatti rutinvizsgálat közben felajánlja a lehetőséget a Down-kór valószínűségének mérésére, majd a diagnosztizálásra, így a születés előtti szűrés is 49%-ról 70%-ra nőtt az évek során. Ezen adatok láttán kijelenthetjük, hogy a fejlett országok elég komolyan veszik a Down-kór szűrését ahhoz, hogy megtegyék a következő lépést, és az SMA-betegségekre is végezzenek vizsgálatot. Egyes európai országoknak, méretükből és gazdasági erejükből adódóan, kevésbé jelenthet gondot anyagi forrást és adminisztrációs rendszert szentelni a tesztek elvégzésére. Németországnak és Franciaországnak indokolt lenne az amerikai modellt követnie, azonban Magyarországnak még több megelőző intézkedést kell megtennie, tekintve, hogy az egészségügyi rendszere az európai átlag alatt van.

ÖSSZEZÉS

A megelőzésnek mindig fontosabbnak kellene lennie a kezelésnél. Nemcsak az egyén, de az állam szempontjából is, hiszen a segélyek, kórházi kezelés, terápiák, gyógyszerek ára nem olcsó. Csak a Spinraza-kezelés egy életen át a beteg számára jelentős összegbe kerül, és egyre több beteg születik, viszont az újszülöttkori vérvizsgálat hosszú távon megtérülne, olcsóbb is, és csökkentené a betegek számát. Továbbá, a beteg gyermek egy életen át tartó gondozásra szorul, amit legtöbbször az édesanya vállal, kiesve ezzel a munkaerőpiacról. Ez a döntés nemcsak az egyént, a családot, de a társadalmat is megviseli. A Nemzetközi Egészségügyi Világszervezet céljai közt tűzi ki a nem fertőző betegségek megelőzését, a mentális egészség fenntartását, a létfontosságú gyógyszerekhez és egészségügyi termékekhez való hozzájutás elősegítését és az adminisztráció fejlesztését. Erre hivatkozva szorgalmazhatnák az újszülöttkori vizsgálatok fejlesztését, a beteg gyermekek családjának lelki segítségnyújtását, az életmentő gyógyszerek árainak lejjebb vitelét, az új gyógyszerek kifejlesztésének támogatását és a genetikai betegségek hivatalos nyilvántartását (URL12). De állami szinten is marad mit fejleszteni, például az egészségügyért felelős köztisztviselők nagyobb hangsúlyt fektethetnének a Guthrie-kártya betegségeket szűrő listájának bővítésére és az egészségügy anyagi forrásainak növelésére.

IRODALOM

- Kariyawasam, D. S. T. – Russell, J. S. – Wiley, V. et al. (2020): The Implementation of Newborn Screening for Spinal Muscular Atrophy: The Australian Experience. *Genetics in Medicine*, 22, 557–565. DOI: 10.1038/s41436-019-0673-0
- Norrgard, K. (2008): Medical Ethics: Genetic Testing and Spinal Muscular Atrophy. *Nature Education*, 1, 1, 88. <https://www.nature.com/scitable/topicpage/medical-ethics-genetic-testing-and-spinal-muscular-666/>
- Prior, T. W. – Professional Practice and Guidelines Committee (2008): Carrier Screening for Spinal Muscular Atrophy. *Genetics in Medicine*, 10, 11, 840–842. DOI: 10.1097/GIM.0b013e318188d069, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3110347/>
- Vill, K. – Kölbl, H. – Schwartz, O. et al. (2019): One Year of Newborn Screening for SMA – Results of a German Pilot Project. *Journal of Neuromuscular Diseases*, 6, 4, 503–515. DOI: 10.3233/JND-190428, <https://content.iospress.com/articles/journal-of-neuromuscular-diseases/jnd190428>

URL1: Cure SMA: *About SMA*. <https://www.curesma.org/about-sma/>

URL2: Cure SMA: *Types of SMA*. <https://www.curesma.org/types-of-sma/>

URL3: Gyógyszertechnológia.hu: *Génterápia – a 21. század gyógymódja*. <https://gyogyszertechnologia.hu/genterapia-a-21-szazad-gyogymodja/?fbclid=IwAR2bIBdbzhJzhDp4VJ8iNY4WOKY5VVOZt2WzwyitAtzkouHMIAHcKv8EM9I>

- URL4: Kásler Miklós: *Minden 18 év alatti SMA-s beteg megkaphatja a kezelést.* <https://www.kormany.hu/hu/emberi-eroforrasok-miniszteriuma/hirek/minden-18-ev-alatti-sma-s-beteg-megkaphatja-a-kezelest>
- URL5: U.S. Food & Drug Administration: *FDA Approves First Drug for Spinal Muscular Atrophy*, 23.12. 2016. <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-drug-spinal-muscular-atrophy>
- URL6: Embryology: *Guthrie Test.* https://embryology.med.unsw.edu.au/embryology/index.php/Guthrie_test
- URL7: Recommendations for the Expansion of Newborn Screening to MCAD Deficiency. Summary of Public Health Recommendations, HAS, June 2011, https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-07/fs_depistage_neonatal-en-v2.pdf
- URL8: Szőnyi László, I. Sz. Gyermekklinika: *Újszülöttkori szűrővizsgálatok.* http://www.gyermekklinika.semmelweis.hu/upload/seaok1gyermek/document/2009.03.19.sz337nyilszl_jszlttkorisz369r337vizsglatok.pdf
- URL9: Czétényi Rita: Évente 50-60 életet ment meg az újszülöttkori szűrővizsgálat, *Semmelweis Hírek*, 2013. 02. 28. <https://semmelweis.hu/hirek/2013/02/28/evente-50-60-eletet-ment-meg-az-ujszulottkori-szurovizsgalat/>
- URL10: The American College of Obstetricians and Gynecologists: *Carrier Screening for Spinal Muscular Atrophy.* <https://www.acog.org/patient-resources/faqs/pregnancy/carrier-screening-for-spinal-muscular-atrophy>
- URL11: National Human Genome Institute: *About Down Syndrome.* <https://www.genome.gov/Genetic-Disorders/Down-Syndrome#3>
- URL12: WHO: *What We Do.* <https://www.who.int/about/what-we-do>

AZ AGRÁRIUM ÉS AZ ÖKOLÓGIAI FENNTARTHATÓSÁG I. RÉSZ: GLOBÁLIS MEGKÖZELÍTÉS, A GAZDAGOK FELELŐSSÉGE¹

AGRICULTURAL AND ECOLOGICAL SUSTAINABILITY PART 1: GLOBAL APPROACH, RESPONSIBILITY OF THE RICH

Neményi Miklós

az MTA rendes tagja, professor emeritus, Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék, Mosonmagyaróvár
nemenyi.miklos@sze.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat komplex megközelítésben hívja fel a figyelmet azokra a kihívásokra, amelyek a fenntarthatóság szempontjából a szerző szerint kiemelt figyelmet érdemelnek. A legfőbb tézise: fenntartható fejlődésről csak akkor beszélhetünk, ha az megfelel az ökológiai elvárásoknak, tehát környezetbarát, hozzájárul az agrár biodiverzitás növeléséhez, klímaváltozás-semleges, vagy mérsékeli a klímaváltozás kedvezőtlen hatásait, és csökkenti a fejlett és fejletlen országok közötti életszínvonal-különbséget, különösen vonatkozik ez az éhínség felszámolására és arra, hogy valamennyi földlakó egészséges ivóvízhez juthasson. Igyekszik néhány félreértést tisztázni a mezőgazdasággal kapcsolatban. Felhívja a figyelmet a globális problémák megoldásával kapcsolatos gondolkodásnál a szemléletváltás szükségességére. Végül utal azokra a megoldásokra, amelyek hatvan-hetven évvel ezelőtt már sikeresek voltak több olyan országban, amelyek korábban nem tudták megtermelni az élelmiszer-szükségletüket. Ki kell zöldíteni, és korszerű műszaki-informatikai eszközök felhasználásával újra kell indítani a Rockefeller Alapítvány által korábban támogatott zöld forradalmat.

ABSTRACT

Utilizing a complex approach, the paper draws attention to challenges that face sustainable development and, according to the author, those that deserve special attention. The main thesis of the study, sustainable development, can only be discussed if it meets ecological requirements. To reach this goal sustainable development has to be environmentally friendly, be able to contribute to the enhancement of agro-biodiversity, and be climate change neutral or at least mitigate the adverse effects of climate change. It should reduce the difference in living standards between developed and developing countries, especially in regard to eliminating famine and

¹ Specifikus reziliencia: amikor meg lehet nevezni, hogy „minek a rezilienciája mivel szemben”, szemben az általánossal, amikor a rendszerhatárok is homályosak, a sokk pedig teljesen meghatározatlan (Walker–Salt, 2006).

unhealthy drinking water supplies. This study also tries to clear up some misunderstandings about agriculture. It highlights the need to change attitudes when thinking about solving global problems. The article refers to the solutions that were successful earlier in several countries that were unable to produce their own food supply that time. Consequently, this led to revival of the Green Revolution, which was sponsored by the Rockefeller Foundation at that time. This demonstrates that development should be greened and utilized with state-of-the-art techniques and information technology.

Kulcsszavak: fenntartható fejlődés definíciója, a mezőgazdaság és az üvegházhatást okozó gázok emissziója, klímaváltozás, kihívások, gazdag és szegény országok

Keywords: definition of sustainable development, agriculture and greenhouse gas emissions, climate change, challenges, rich and poor countries

A tanulmánnyal Dimény Imre (1922–1917), Györffy Béla (1928–2002) és Láng István (1931–2016) akadémikusok emléke előtt szeretne a szerző tisztelegni.

BEVEZETŐ GONDOLATOK

A lehetőség fennállt a kiegyensúlyozott globális fejlődésre

A múlt század elején a motorizáció indulása több szempontból is fenntartható irányt jelzett. Henry Ford felhívta a figyelmet a növényi eredetű szerves anyagok fermentációjának a lehetőségére (*The New York Times*, 1925. szeptember 20.). Ezzel az Otto-motorokat CO₂-semleges hajtóanyagokkal lehet üzemeltetni (bioetanol = biobenzin). Rudolf Diesel elképzelése szerint az általa szabadalmaztatott, növényolajjal is működő belsőégésű motor nemcsak CO₂-semleges, de egyben hozzájárulhat a gyarmatok fellendüléséhez, az ottani ipar fejlődéséhez (Chalkley, 1916). Sajnos egyik megoldás sem talált követőkre. Ezzel óriási lehetőséget szasztott el a fejlett világ kapzsiságra épült „fejlődése”.

Globális áru „turizmus”

A légi teherszállítás az elmúlt harminc év alatt ötszörösére nőtt. Az addig elképzelhetetlen méretű, nagy távolságra történő áruszállítás, beleértve az azóta háromszorosára növekedett tengeri áruforgalmat is, megváltoztatta a világgazdaság korábbi jellemzőit: a) általa belép egy további jelentős, fosszilis hajtóanyagokból eredő CO₂-forrás, b) tovább növekszik a fejlett és fejlődő országok közötti élet-

színvonal gradiens: olcsó élelmiszerek és nyersanyagok kerülnek az egyébként is fejlett országokba. Ezzel a klasszikus lokális vagy legalább kontinentális komparatív előnyökre épült, tehát bizonyos mértékben önszabályozó gazdasági berendezkedés gyakorlatilag összeomlott.

Ennek egyik okát a közgazdasági Nobel-émlékdíjas William Nordhaus fogalmazta meg közérthetően: Az üvegházhatást okozó gázokat kibocsátók gazdasági és egyéb előnyökre tesznek szert a fosszilisok elégetésével, míg azok, akik ennek a tevékenységnek a káros következményeivel találkoznak, például a klímaváltozástól szenvedő szegények milliárdjai, semmiféle ellenszolgáltatást nem kapnak.

Közös jövőnk, 1987

Az ENSZ által 1984-ben létrehozott bizottság, a korábbi norvég miniszterelnök asszony, Gro Harlem Brundtland vezetésével 1987-ben nyilvánosságra hozta jelentését *Közös jövőnk* címmel. Ennek alap gondolata, hogy a Föld minden lakosának joga van emberhez méltó életkörülmények között élni. Megfogalmazták továbbá, hogy „A fenntartható fejlődés olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen generációk szükségleteit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő generációit abban, hogy ők is kielégíthessék szükségleteiket” (Láng, 2001).

Ezekkel az elvekkel mindenki egyetért, függetlenül attól, hogy aluliskolázott vagy magasan kvalifikált. Az ádáz vita a „hogyan” megítélésekor folyik. Ennek részben szakmai oka van, részben anyagi: személyi vagy közösségi ellenérdekeltség.

FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS

Ma már egyértelmű, hogy *fenntartható fejlődésről csak akkor beszélhetünk, ha az megfelel az ökológiai elvárásoknak, tehát környezetbarát, hozzájárul az agrár biodiverzitás növeléséhez, klímaváltozás-semleges, vagy mérsékli a klímaváltozás kedvezőtlen hatásait, és csökkenti a fejlett és fejletlen országok közötti élet-színvonalbeli különbséget, különösen vonatkozik ez az éhínség felszámolására és arra, hogy valamennyi földlakó egészséges ivóvízhez juthasson.*

Azt pontosan meg lehet határozni, hogy mennyi és milyen minőségű élelmiszerre van szüksége egy személynek (a korosztálytól és a munkájától stb. függően) az adott klímazonában.

Az 1996-os élelmiszer világ csúcstalálkozón (World Food Summit) a következő meghatározást fogadták el: élelmiszerbiztonság akkor létezik, ha valamennyi ember folyamatosan fizikai és gazdasági hozzáféréssel rendelkezik az elegendő, megbízható és tápláló élelmiszerhez, olyan módon elégítve ki az étrendi igényeit, ahogy az az aktív és egészséges élethez szükséges.

EL TUDJUK-E LÁTNI A TÖBB MINT 7,77 MILLIÁRD FÖLDLAKOST KENYÉRREL?

A világ mezőgazdasága 2019-ben is megtermelte az egy főre jutó szükséges szemestermény-mennyiséget. A 2707 millió tonna gabonafélét (URL1) 7,77 milliárd főre számolva, 348 kg jutott egy személyre, vagyis senkinek sem szabadna éheznie. Ehhez jön még a halászat, a vadászat, az állattartás és az erdők által nyújtott táplálék. Az egyiptomi piramisépítő rabszolgáknál évente 350 kg gabonát biztosítottak fejenként, tudva, hogy a nehéz fizikai munkához annak arányában kell az energiát bevinni.

A KIHÍVÁSOK

A 348 kg/év/fő szemestermény egy átlag, amely eltakarja a fejlett és szegény országok közötti jelentős különbségeket. Amíg a fejlett országokban ennek a kétszerese, a fejlődő országokban a fele jut egy személyre, vagyis jelenleg nem tudják megtermelni a számukra szükséges élelmet. Arról nem beszélve, hogy a megtermelt szemestermény jelentős része tároláskor tönkremegy. Másrésről a termés-hozam a fejlődő országokban messze a genetikai potenciál alatt van.

Az is tény, hogy a világon – különböző statisztikák szerint – a nem megművelt szántók aránya 55 és 62% között változik. Különösen nagy ez az arány Afrikában és Dél-Amerikában.

Legalább 1,5 milliárd ember éhezik a Földön (Merlet, 2013), 785 millió embernek nincs még alapvető ivóvízellátása sem, 2 milliárd ember fogyaszt bélsárral szennyezett ivóvizet. 144 millió földlakos élete kezeletlen felszíni vizektől függ. 2025-re a világ lakosságának fele a vízellátás szempontjából kritikus helyeken fog élni. 3 milliárd személynek nincs lehetősége kezet mosni, 4,2 milliárd földlakónál nincsenek meg az alapvető higiéniai feltételek (URL2).

Ugyanakkor, az elmúlt évtizedben jutott a fejlődő világ egy része oda, hogy több lakosnak van mobiltelefonja, mint akik egészséges ivóvízhez, illetve elektromos áramhoz jutnak (Martínez-Santos et al., 2017).

Ezek a tények is mutatják, hogy a fejlett országok milyen torzult fejlődési pályát igyekeznek a fejlődőkre rákényszeríteni. Nem vitatható, hogy a gyors információcsere lehetősége gazdasági előnyökkel is jár: telefonon tudnak értesülni arról, hogy melyik piacon tudják az áruikat kedvezőbb áron értékesíteni, árut lehet vásárolni, banki átutalásokat eszközölni stb. Másrésről a később tárgyalt dolgok internete (IoT: Internet of Things) hálózatok a mobil távközlési infrastruktúrákkal, a GSM-rendszerekkel viszonylag olcsón integrálhatók.

A globális információcsere révén a fejlődő országok lakosainak jelentős része érzékelheti, hogy milyen óriási megélhetési és életszínvonal-különbőség van kö-

zöttük és a fejlett országok lakosai között. Többek között emiatt, továbbá a klímaváltozás kedvezőtlen hatásai és a helyi háborúk megpróbáltatásai miatt migrációs cunami indult el Afrikából és Ázsiából a Kánaánnak vélt Nyugat-Európa felé, abban a reményben, hogy a fennmaradásukhoz szükséges minimális életfeltételek adottak lesznek ott.

Változást jelent az is, hogy korábban tőlünk ezer, akár több ezer kilométerre történt sajnálatos eseményeknek (háború, éhínség a klímaváltozás miatt, járvány stb.) gyakorlatilag semmilyen hatása nem volt nálunk. Ma ez a helyzet megváltozott, a következményeket valamilyen formában nekünk is viselnünk kell.

Az élelmiszer-biztonságnak és az egészséges ivóvízhez jutásnak kellene az első lépésnek lennie. Egy ilyen program segélyekkel nem oldható meg. Angus Deaton, a Princetoni Egyetem Nobel-émlékdíjas közgazdász professzora szerint az, hogy a gazdag országok segélyt küldenek a szegényebbeknek, többet árt, mint használ.

Ez a megfogalmazás talán túlzás, de az elmúlt évtizedek tapasztalatai szerint az alapvető globális probléma segélyekkel nem orvosolható, legfeljebb csak rövid távon (Herdt, 1998).

Az a „pár tucat” multimilliárdos döntő hányada, akinek a vagyona annyi, mint a 3,5 milliárd szegénységben élő földlakónak összesen, nem mutat sok hajlandóságot a szemléletváltozásra. Sajnos itt is érvényes Max Plancknak a tudományos fejlődéshez kötődő gondolata: *Saulusból ritkán lesz Paulus*.

A KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS AZ AGRÁRIUM

Sajnos rossz felfogásban közelítjük meg a problémát. A fejlődő országoktól várjuk el, hogy a mi környezetszennyezésünk jelentős részét érintetlen természetes környezetükkel kompenzálják.

A fosszilis hajtóanyagok jelentős részének kiváltásához minden feltétel adott a biohajtóanyagok (biobenzin, biodiesel, biogáz) alkalmazásával. Ehhez adódnak a nem élő eredetű energiaforrások (nap-, szél-, ár-ápály-, vízi erőmű- és geoenergia). A biohajtóanyagoknál a kipufogó gázok szén-dioxid-tartalmát a következő növényi generáció fel tudja használni a növekedéséhez és fejlődéséhez, tehát zéró szén-dioxid-kibocsátásról beszélhetünk.

Párizsban 2015-ben abban egyeztek meg a kormányok, hogy a klímakutatók által jelzett, az ipari forradalom előtti globális hőmérsékletet 1,5–2 °C-kal nem szabadna túlhaladni. Az idevonatkozó diagramok alapján a kiindulási globális felszíni hőmérséklet 13,6–13,7 °C. Ehhez viszonyítva az emelkedés 1,1 °C (URL3), vagyis közelítjük a 15 °C-ot (az északi féltekén el is értük), tehát „belátható közelségben” van a 15,5 °C-os kritikus érték.

Ha nem történik tényleges előrelépés, a globális hőmérséklet-emelkedési pályát nem váltjuk szelídebbre, akkor egyes klímaszenáriók szerint egy teljesen más klímazónába kerülhetünk nyolcvan év múlva, közelítve a 20 °C-ot, ami alapvetően megváltoztatja a Kárpát-medencében élők életkörülményeit, így a mezőgazdasági termelés feltételrendszerét is. Ugyanakkor várhatóan a mérsékeltbb „jóslatok” fognak érvényesülni. Ezeknél megfelelő technológiával, például helyspecifikus precíziós öntözéssel, a talaj és egyéb körülményekhez a természetstechnológiával az eddigieknél jobban alkalmazkodva, mérsékelni tudnánk a kedvezőtlen hatásokat (Kovács et al., 2014).

A VILÁG ÉS AZ AGRÁRIUM ENERGIAFELHASZNÁLÁSA

A kőolajalapú energiatranszformáció 1973 és 2017 között másfélszeresére, a földgázfelhasználás több mint háromszorosára, a szénfelhasználás több mint két és félszeresével nőtt. Ezzel együtt a megújuló energiahordozók hasznosítása is nőtt, de az százalékos arányaiban nem változik jelentős mértékben: az említett időszakban 12,0 és 14,5% között mozgott. A megújuló arányának növekedését az is gátolja, hogy a fosszilisok kitermelésében és értékesítésében érdekeltek jelentős ellenpropagandát finanszíroznak. Azt a tényt használják ki, hogy egyedül üdvözítő, csak pozitív tulajdonságokkal rendelkező megoldás nincs. Az igazi kérdés az, hogy összességében, a pozitív és kedvezőtlen hatások együttes figyelembevételkor az új technológiákkal jutunk-e előbbre a fenntarthatóság felé vezető úton. Nem vitatható az a tény sem, hogy a tudomány, és az arra épülő innováció folyamatosan csökkenti a kedvezőtlen hatásokat, törekedve például a megújuló energiákat érzékelő berendezések elhasználódása után az alkatrészek újbóli hasznosítására.

A világ energiatranszformációjának 79,4%-a fosszilis energiahordozó (IEA, 2019).

Alapesetben a mezőgazdaság 11%-ban felelős az üvegházhatású gázok kibocsátásáért (Arcipowska et al., 2019). (Ezeknek a számításoknak a módszere még nem kiforrott, ezért nagyon eltérő értékek jelennek meg.) Ma már egyértelműen kimutatható, hogy a korszerű növénytermesztésnél a növények több CO₂-gázt vonnak ki a levegőből, mint amennyit a technológia kibocsát. Másrészt, törekedni kell a fosszilisok kiváltására. A magyar mezőgazdaság által a hajtó- és tüzelőanyagként felhasznált gázolaj, valamint a nitrogén műtrágya gyártásához szükséges földgáz a gabonafélék melléktermékeinek 40-50%-ával, azok elgázosításával kiváltható lenne. Vagyis teljesen fosszilisenergiahordozó-mentessé válhatna az a tevékenység (a magyar mezőgazdaságról van szó), amely egy főre vetítve több szemesterményt állít elő, mint az USA. Természetesen nem hagyható szó nélkül az erdők felszámolása abból a célból, hogy a területet növénytermesztésre alkalmassá tegyék. Ennek a tevékenységnek a hatását a klímaváltozás-

ra nehéz megbecsülni, hiszen folyamatosan erdősítések is történnek, másrészt a kultúrnövények, különösen az évelők, de legelők is jelentős szénmegkötő képességgel rendelkeznek.

A metán emissziója 16-17%-ban felelős az üvegházhatásért. Ennek 44%-a származik a mezőgazdaságból, a kérődzőket és az árasztásos rizsföldeket kell itt kiemelni. A világ tehenállományának jelentős része a mintegy 1,5 milliárdos mélyszegénységben élő populáció alapvető élelmezését jelenti. Nemcsak tej- és húsforrások, hanem egyben ezen élelmiszerek „tárolását” is biztosítják. Hozzá kell tenni, hogy ezek az állatok nagyrészt olyan területeket legelnek, amelyek a klasszikus értelemben nem alkalmasak növénytermelésre. A fejlett országok persze indokolatlanul sok húst fogyasztanak. Különösen a marhahús kontinenseket átvivő szállítását kellene mérsékelni.

Az árasztásos rizsföldeknél át lehetne térni az ún. „száraz fajtákra”, amelyek „megelégszenek” az intenzív öntözéssel. Kérdés: Ki fizeti meg az ilyen rendszerek beruházási és üzemeltetési költségeit?

ZÖLDÜL A SZÁRAZFÖLD

Az üvegházhatású gázok növekedése egyben intenzívebb fotoszintetikus aktivitást is eredményez, ami a biomasszahozam növekedésével jár, mindaddig, amíg a szükséges víz, fény és tápanyagok rendelkezésre állnak. A fosszilisok elégetésekor keletkező CO₂ egy részét a növényzet beépíti tömege növekedésekor, másik része növeli az atmoszféra üvegházhatást okozó tömegarányát. A természet tehát rugalmasan alkalmazkodik a változó körülményekhez, csak az extrém hatásokat, mint amilyen a fosszilis energiahordozók intenzív felhasználásából adódó drasztikus CO₂-tartalom-növekedés az atmoszférában, nem tudja kezelni. Kína és India, a Föld két legnépesebb országa jelentősen hozzájárult az elmúlt két évtizedben a planéta zöldüléséhez, az erdők és a növénytermesztésre használt területek jelentős növelése révén (Chen et al., 2019). Nem lenne teljes a kép, ha nem jegyeznénk meg, hogy az üvegházhatású gázok kibocsátásában Kína az első, második az USA, harmadik az EU27 és az Egyesült Királyság, majd India és Oroszország következik.

Az 1980-as évek óta a műholdas képek kimutatták, hogy a szárazföld „zöldülése” évtizedenként 2,3 százalékkal nőtt.

A kutatók a NASA műholdas spektrométeres (MODIS) adatainak elemzésével bizonyították, hogy a növényvel borított területek egyharmada zöldül, és csak öt százaléknál csökken a fotoszintézis intenzitása, mert nem állnak rendelkezésre a fent említett feltételek, főleg az elegendő víz.

VAN-E ESÉLY AZ ÜVEGHÁZHATÁST OKOZÓ GÁZOK KIBOCSÁTÁSÁNAK,
VAGYIS A FOSSZILIS ENERGIAHORDOZÓK FELHASZNÁLÁSÁNAK MÉRSÉKLÉSÉRE?

Ne dugjuk a fejünket a homokba: a fosszilis energiahordozók kitermelése, felhasználása és exportja hatalmas birodalmakat tart fenn (USA, Oroszország, Kínai Köztársaság stb.). Naivítás lenne azt gondolni, hogy bármilyen logikus indokkal a gazdasági érdekek ellenében cselekednének, akár csak mérsékelnék ezek az országok a termelést. A tudománynak az a feladata, hogy olyan megoldást találjon, amelyet a fosszilisokat kitermelők is elfogadnak, mert nem ellentétes a gazdasági és politikai érdekeikkel. A feladat nem csekély, de kedvező változás más módon nehezen képzelhető el. *Albert Einstein* gondolatát kell követnünk: *Azokat a jelentős problémákat, amelyekkel szembesülünk, nem lehet azzal a gondolkodásmóddal megoldani, amellyel létrehoztuk azokat.* A fenti birodalmak vezetőinek, de valamennyi politikusnak, azt is érzékelnie kell, hogy a közeljövőben a globális problémák iránt (nem csak a klímaváltozásról van szó) a fejlett országok lakosai egyre érzékenyebbek lesznek, különösen az egész fiatal korosztály, a tizenöt–húsz évesek fognak egyre nagyobb beleszólási jogot követelni.

Századunk közepén több mint kilencmilliárdos populációval kell számolni. Ugyanakkor a környezetkárosító, a kemikáliák használatának folyamatos növelésére alapozott intenzív termelési módszerek ellentétesek a fenntarthatóság kritériumaival. Nem megoldás az őserdők felszámolása sem, ugyanakkor figyelembe kell venni az ott élők megélhetési lehetőségeit is. A termés növelését csak környezetbarát módszerekkel és a gazdálkodásra alkalmas területek termelésbe vonásával lehet elérni.

Az ipar, az áruszállítás, a medicina, a kutatás, az oktatás, a közigazgatás stb. területein paradigmaváltásra lesz szükség. Így van ez az agráriumban is. A korszerű IKT (Információs és Kommunikációs Technológia) eszközeit itt is adaptálnunk kell. A Norman Borlaug nevével jelzett, a '40-es évek elején indult zöld forradalom több, korábban élelmezési gondokkal küzdő, nagy népességgel rendelkező országot is önellátóvá tett gabonafélékből. Ehhez hasonló programot kellene indítani a fejlődő országokban, ugyancsak a korszerű IKT alkalmazásával.

A cikk megírásához szükséges kutatásokhoz a „Tématerületi Kiválósági Program – 2019 (TUDFO/51757/2019-ITM)” és a Széchenyi István Egyetem biztossított forrást.

IRODALOM

- Arcipowska, A. – Mangan, E. – Lyu, Y. et al. (2019): *5 Questions About Agricultural Emissions, Answered*. World Resources Institute, 29 July 2019. <https://www.wri.org/blog/2019/07/5-questions-about-agricultural-emissions-answered>
- Chalkley, A. P. (1916): *Diesel Engines for Land and Marine Work*. New York: D. Van Nostrand Company
- Chen, Ch. et al. (2019): China and India Lead in Greening of the World through Land-use Management. *Nature Sustainability*, 2, 122, February. 122–129. DOI: 10.1038/s41893-019-0220-7, <http://sites.bu.edu/cliveg/files/2019/02/Chen-NSUST-2019.pdf>
- Herd, R. W. (1998): Assisting Developing Countries toward Food Self-reliance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 95, 5, 1989–1992. <https://www.pnas.org/content/95/5/1989>
- IEA (2019): *Key World Energy Statistics*. International Energy Agency, <https://www.iea.org/events/key-world-energy-statistics-2019>
- Kovács A. J. – Nyéki A. – Milics G. et al. (2014): Climate Change and Sustainable Precision Crop Production with regard to Maize (*Zea Mays* L.) In: Stafford, J. – Schepers, J. S. (eds.): *12th International Conference on Precision Agriculture, Sacramento, USA*. 1–14. <https://www.ispag.org/proceedings/?action=download&item=1518>
- Láng I. (2001): Lesz-e új a nap alatt a környezetvédelemben? *Magyar Tudomány*, 162, 12, 1415–1422. <http://www.matud.iif.hu/01dec/lang.html>
- Martínez-Santos, P. – Cerván, J. A. – Cano, B. et al. (2017): *Water versus Wireless Coverage in Rural Mali: Links and paradoxes*. FAO AGRIS MDPI, <https://www.mdpi.com/2073-4441/9/6/375/pdf>
- Merlet, M. (2013): *Non-cultivated Arable Land in the World*. A Memo Prepared for the Food and Agriculture Commission of Coordination Sud (C2A), January. https://www.agter.org/bdf/en/corpus_chemin/fiche-chemin-231.html
- URL1: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>
- URL2: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- URL3: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2019-was-second-warmest-year-and-last-five-years-were-warmest-record>

AZ AGRÁRIUM ÉS AZ ÖKOLÓGIAI FENNTARTHATÓSÁG II. RÉSZ: A HARMADIK ZÖLD FORRADALOM ÉS A DOLGOK INTERNETE¹

AGRICULTURAL AND ECOLOGICAL SUSTAINABILITY PART 2: THE THIRD GREEN REVOLUTION AND THE INTERNET OF THINGS

Neményi Miklós

az MTA rendes tagja, professor emeritus, Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék, Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány második része az első részben felvetett problémák megoldására tesz javaslatot. A harmadik zöld forradalom új alapokra helyezi az információgyűjtést. A dolgok internete (IoT: Internet of Things) rendszer, amely bármikor és bárhol, bármivel és bárkivel kapcsolatot tud teremteni az interneten keresztül, érzékelőket csatlakoztat egy vezeték nélküli hálózathoz, és adatokat szolgáltat az élő és élettelen „tárgyakról”. Emberi beavatkozás nélkül létre lehet hozni a gépek közötti kapcsolatot (m2m). Az érzékelőktől kapott jeleket a mesterséges intelligencia nyújtotta lehetőségek kihasználásával lehet elemezni. Ez lehetővé teszi a növény és a környezet közötti dinamikus kapcsolat elemzését. A tanulmány bemutatja az IoT lehetőségeit a fenntarthatóság terén mind a fejlett, mind a fejlődő országokban. A történelemben volt már sikeres program az éhezés felszámolására. A Norman Borlaug professzor által szervezett zöld forradalom tapasztalatai alapján a modern IKT használatával egy ilyen világméretű program eredményes lehet.

ABSTRACT

The second part of the study offers therapy for the problems raised in the first part. The Third Green Revolution puts information gathering on a new footing. The Internet of Things (IoT) system, which implements connection anytime and anywhere with anything and anyone over the internet, connects sensors to a wireless network that provide data on living and inanimate 'objects'. A machine-to-machine connection (m2m) can be established, omitting human intervention. The signals received from the sensors can be analysed utilizing artificial intelligence. This allows for the analysis of dynamic relationships between plants and their environment. The paper introduces the potential of IoT in the field of sustainability in both developed and developing countries. This can be supported by the fact that there has already been a successful program in history to eradicate hunger, as we can see in the Green Revolution and the work of Professor Norman Borlaug. Therefore, by using modern ICT such a worldwide program could be implemented and effective.

¹ Az írás 2019. november 11-én, a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából az MTA székházban elhangzott előadás átdolgozott és kibővített összefoglalója.

Kulcsszavak: fejlett és fejlődő országok konvergenciája, paradigmaváltás, dolgok internete, agrár-IoT, nagy adattömbök, adatbányászat, mesterséges intelligencia, 3. zöld forradalom

Keywords: convergence of developed and developing countries, paradigm shift, Internet of Things, Agro-IoT, Big Data, data mining, Artificial Intelligence, 3rd Green revolution

A tanulmánnyal Dimény Imre (1922–1917), Györffy Béla (1928–2002) és Láng István (1931–2016) akadémikusok emléke előtt szeretne a szerző tisztelegni.

BEVEZETŐ GONDOLATOK

A tanulmányban a szerző a diagnózis mellett terápiát ajánl. Kivitelezhető és várhatóan hatékony megoldások csak kevés publikációban jelennek meg. Évtizedek óta csak a célok, illetve a feladatok kitűzése folyik szerény eredményességgel.

Szemléletváltás és monitoring a fejlett országokban

Az ún. „átlagember” a fejlett országokban csak úgy változtatja meg a véleményét és a hozzáállását, ha folyamatosan információkat kap a kedvezőtlen változásokról. Az „átlagembert” csak részben lehet aktivizálni, szokásait, hozzáállását megváltoztatni azzal, hogy távoli, más klímakörülmények mellett milyen kedvezőtlen változások történnek. Erkölcstilozófiai intelmek, akár fenyegetések sem eléggé hatékonyak. Ha megfelelő monitoringrendszer működik például egy erdőben, és a kiránduló egy tájékoztató táblán látja, vagy a mobiltelefonjával lehívhatja az ottani kedvezőtlen változásokat, tendenciákat, amelyeket a turisták vagy akár az éghajlatváltozás okoz, akkor jobban megérti, hogy ő személy szerint mit tehetne, hogy a helyzet kedvező irányba változzon. Megértőbb lesz a kutatási programok célkitűzéseivel is.

Az élelem létkérdés

A másik kihívás az éhezéssel kapcsolatos etikai kérdés a fejlődő, illetve a legkevésbé fejlett régiókban. Akik éhesek, nem fognak azon gondolkodni, hogy a tőlük távol eső gazdag országokban született erkölcsi normáknak megfeleljenek. Ők akkor és ott tesznek meg mindent, hogy a holnapot megérik. Humanitárius és ökológiai kérdések még a gondolataikban sem jelennek meg. Mindent elkövetnek, hogy kezelni tudják a helyzetet. Külső szankciókkal semmilyen eredményt nem lehet elérni.

KRONOLÓGIAI VISSZATEKINTÉS

Az első zöld forradalom:
nyolcvan éve paradigmaváltás a növénytermesztésben

A világon az első korszerű, technológián alapuló növénytermelési rendszer, a *Green Revolution*, a *zöld forradalom* Norman Borlaug (1914–2009) nevéhez fűződik. Borlaug 1939-ben növénykórtanból diplomázott a Minnesotai Egyetemen, 1942-ben ugyanott doktorált. Ezt követően Mexikóban, ahol a gabonaszükséglet felét tudták csak megtermelni, a Rockefeller Alapítvány támogatásával egy teljesen új programba kezdett, amelynek lényege a technológiai fegyelem, a legkorszerűbb búzafajták, növényvédőszeres, erő- és munkagépek, öntözőrendszerek stb. alkalmazása volt. A drasztikus populációnövekedés ellenére Mexikó rövidesen önelátóvá vált gabonafélékből. Pakisztánban és Indiában is sikeres volt a program.

Norman Borlaug 1970-ben Nobel-békedíjat kapott, a számos tudományos elismerése mellett a Magyar Tudományos Akadémia tiszteleti tagja volt (1980). Néhány, még ma is elgondolkodtató kijelentése:

„Az ételhez jutás erkölcsi joga mindenkinek, aki ebbe a világba született... Néhány környezetvédő lobbista kiváló ember, de a legtöbb életművész. Ezek soha nem tapasztalták meg az éhségérzetet. A lobbitevékenységüket elegáns irodákból fejtik ki Washingtonban vagy Brüsszelben. Ha csak egy hónapig élnének nyomorban a fejlődő országokban ott, ahol én ötven évet töltöttem, azonnal traktorért, műtrágyáért és öntöző csatornáért kiáltanának.” (URL1)

A második zöld forradalom,
a precíziós mezőgazdaság

David Tilman 1998-ban cikket közölt a *Nature*-ben *The Greening of the Green Revolution* (A zöld forradalom kizöldítése) címmel (Tilman, 1998). Ebben jelezte, hogy az intenzív növénytermesztési technológiákat környezetkímélőbbé kell tenni, és ehhez hozzájárulhatnak a precíziós technológiák. Tilman szerint a „zöld forradalom” kizöldítése forradalmi változást igényel az ökológiai folyamatok feltárásánál: a kártevők dinamikája, a talajban lejátszódó állapotváltozások és a mikrobiológiai ökológia terén is.

A Precíziós Mezőgazdaság Nemzetközi Szervezetének (ISPA: International Society of Precision Agriculture) honlapja szerint: „A precíziós mezőgazdaság olyan irányítási stratégia, amely összegyűjti, feldolgozza és elemzi az időbeni, térbeli és egyedi adatokat, ezeket egyéb információkkal összevetve támogatja a vezetés döntéseit abból a célból, hogy a várható változékonyság figyelembevételével hatékonyabb legyen az erőforrás-felhasználás, a termelékenység, a minőség, a jövedelmezőség, és a mezőgazdasági termelés fenntartható legyen.”

A várható változékonyságon a táblán belüli eltéréseket, illetve az azokra adandó helyspecifikus válaszokat kell érteni. A precíziós állattenyésztésnél ezekhez a szempontokhoz még az állatjólét biztosítása is kiemelt jelentőségű elvárás.

Tilman professzor munkatársaival a *Nature*-ben megdöbbentő adatokat közölt az agráriumhoz köthető környezetszennyezésekről. Ezek között ki kell emelni, hogy a például a nitrogén műtrágyák 30–50, a foszfor műtrágyák 45%-át hasznosítják csak a kultúrák (Tilman et al., 2002). A fennmaradó rész jelentős környezetszennyezőként jelentkezik.

A jelenlegi gyakorlatokban a precíziós technológiák csak részben váltották be a hozzájuk fűzött reményeket. Különösen vonatkozik ez a fenntarthatóság kritériumainak figyelembevételére.

Louis Longchamps és munkatársai (2018) a mezőgazdasággal kapcsolatos kutatásoknál a paradigmaváltás szükségességére hívták fel a figyelmet. Felvetették, hogy észelve a mezőgazdaság kedvezőtlen hatását a bioszférára, az arra adandó válaszok egyre nagyobb időintervallumot igényelnek. A megoldás: új kutatási módszereket kell kidolgozni, az eddigiéknél sokkal nagyobb adatbázisokra (Big Data) kell a tudományos következtetéseket alapozni farmon, illetve táblán belül, regionális és globális szinten egyaránt.

A HARMADIK ZÖLD FORRADALOM ÉS AZ IoT

Felmerül a kérdés: Hogyan járulhat hozzá az IKT (Információs és Kommunikációs Technológia) fejlődésének legújabb állomása, az IoT, a dolgok internete a fenntarthatósághoz? Hogyan tud megoldást kínálni az előbbieken vázolt problémákra? Milyen módon tud a fenntarthatóság elvárásainak egyidejűleg megfelelni a fejlett és a fejlődő, de különösen a legkevésbé fejlett országokban? Ez azért is kihívás, mert a fejlett országokban a mezőgazdaságban át kell állni környezetkímélő technológiákra, és egyben a lakosság szemléletét is meg kell változtatni, míg a fejlődő országokban az alapvető probléma az élelmiszerbiztonság és az egészséges ivóvíz.

A dolgok internete kommunikációt tesz lehetővé ember–ember, ember–dolog és dolog–dolog között úgy, hogy az ember mint közvetítő, illetve döntéshozó egyre jobban kikerül a rendszerből. A dolgok internete számítástechnikai és kommunikációs forradalom a vezeték nélküli technológiától a nanotechnológiára alapozott érzékelőkig. Forradalminak lehet nevezni az IoT-t olyan értelemben is, hogy teljesen megváltoztatja az életkörülményeinket. Olyan összefüggések feltárására lesz lehetőség, amelyekre eddig az adatbázisok és modellezési módszerek nem adtak lehetőséget.

Az IoT intenzív fejlődése egyre jobban abba az irányba viszi az internet fejlődését, hogy a különböző helyekről, különböző formában (kép, hang, egyéb digitális adatok stb.) érkező információkat egységes szemlélettel dolgozza fel a döntéshozatal megalapozása céljából.

LORAWAN DOLGOK INTERNETE (IOT) RENDSZER
A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
MEZŐGAZDASÁG- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KARÁN

Az általunk „Agrár-IoT”-nek nevezett program első, pilot projektnek tekintett szakaszában a célunk az volt, hogy a kultúrnövényről, a talajról és mikroklímáról valós idejű (real time) információkat gyűjtsünk, és ezen adattömbök (Big Data) által tartalmazott összefüggések feltárásával pontosítsuk az eddig használt döntéstámogató modellrendszert.

IoT-rendszert lehet kiépíteni (LoRaWAN), illetve lehet GSM-alapú, mobil telefon-hálózatra alapozni. Az IoT-rendszer telepítését tavaly májusban kezdtük. A pilot berendezésekről gyűjtött tapasztalatok alapján az idén márciusban egy Tématerületi Kiválósági Program keretében a 15 ha-os kísérleti táblán három talajféleségnél IoT- és egy meteorológiai állomást telepítettünk, felhasználva a korábbi ilyen irányú tapasztalatokat. Minden egység az Antenna Hungária Zrt. (AH) LoRaWAN IoT-hálózatához kapcsolódik. Ugyancsak ez a rendszer fogadja azoknak a szenzoroknak a jeleit, amelyeket a táblát szegélyező erdősávban helyeztünk el. A szenzorok adatai a LoRa (Long Range) kommunikációs hálózaton keresztül jutnak el a kapuig, majd onnan az AH IoT hálózati szerverekre. Kutatócsoportunk mint felhasználó, közvetlenül az Antenna Hungária szervereitől kapja a negyedórás felbontású mérési adatokat. Ezek feldolgozása és megjelenítése azonban már a mi alkalmazásszervereinken történik.

Hosszú távú cél, hogy az *on-the-go* (mozgás közben érzékelő) mérőrendszerek, például robotok, a talajban vontatott mérőegységek vagy a távérzékelés által szolgáltatott adatok ugyancsak integrálódjanak a rendszerbe, és a stabil műszerek folyamatosan és automatikusan validálják ezen adatokat a környezetükben történő elhaladásukkor.

A monitorozási paraméterek: a talaj elektromos vezetőképessége, a talaj víztartalma és a talaj hőmérséklete különböző mélységeken (5, 20, 40, 60 és 80 cm), a levegő hőmérséklete, páratartalma és nyomása, a levél felületének páratartalma és a szárvastagság.

További eszközök érzékelik a környezeti tényezőket: a talajvíz pH-ját és nitrít-, nitráttartalmát, a talaj CO₂- és ammóniakibocsátását és az oxigéntermelődést. A komplex meteorológiai állomás tíz paramétert elemez. Ugyanakkor adatszolgáltatás történik a műholdas, repülőgépes, illetve drónfelvételek kiértékelésekor is. A rendszert tovább fogjuk fejleszteni rovar feromoncsapdákkal és kamerákkal, amelyek hasznos információkat nyújtanak a termesztett kultúrákról és azok környezetéről.

Az adatok kiértékelése

A nagyszámú adatgyűjtéssel a talajban lejátszódó állapotváltozásokat, például a nitrátok és nitritek, valamint egyéb szennyeződések diffúzióját, talajvízbe jutásának törvényszerűségeit tudjuk pontosítani, ezzel többek között környezetkímélő tápanyagellátást lehet biztosítani, továbbá intelligens, energia- és víztakarékos öntözési rendszert tudunk kiépíteni és működtetni. Az IoT-állomások lehetőséget adnak a mezőgazdasági termelési rendszer és a környezete kapcsolatának tanulmányozására is. A fent vázolt rendszer alapját képezheti a *soil to kitchen* (a talajtól a konyháig) monitoringnak, vagyis egy olyan adatsornak, amelynél a vásárló az ételkészítés előállításának folyamatát a talajtól (talajműveléstől) egészen az étkezésig, a konyháig nyomon tudja követni: milyen műveleteket végeztek, milyen vegyszereket használtak, milyen távolságra szállították a terméket, milyen hosszan és milyen körülmények között tárolták azt, stb.

Eddig a „hagyományos” növényfiziológiai modelleknél a költséges, laborban mért adatok nagy részét nem folyamatos érzékeléssel, hanem adott időintervallumokban – ezek lehetnek évek is – méréssel gyűjtöttük (Nyéki et al., 2017). A növények növekedési és fejlődési jellemzőinek pontosabb leírása érdekében kellett a változók számát és a mért adatok gyakoriságát növelni. Ez az új érzékelőhálózat dinamikus „Big Data” adatbázisokat kínál. Ma már a nagy adatbázisok feldolgozását, az adatbányászatot szinte kizárólag a mesterséges intelligenciára alapozott módszerekkel végezzük (Nyéki et al., 2019).

Mivel méréseink száma és a levonható következtetések komplexitása sok nagyságrenddel növekszik, folyamatosan közelebb kerülünk a projekt végső céljához: az automatizált, fenntartható, környezetkímélő növénytermesztési rendszerek műszaki-informatikai megalapozásához.

AZ IOT ÉS A FEJLŐDŐ ORSZÁGOK

Az IoT-re alapozott döntéshozatal egyidejűleg tud társadalmi és gazdasági problémákat kezelni.

A fejlődő, de különösen a legkevésbé fejlett (Least Developed) országok gyorsulásának kulcsa, az első lépés a mezőgazdaság fejlesztése, melynek lényege a genetikai potenciál kihasználása és a technológia betartása. Ezzel mérsékelhető és hosszú távon felszámolható az éhínség. A genetikai potenciál kihasználása a szántóföldeken elsősorban az optimális tápanyag kijuttatását, a korszerű növényvédelmet és szárazság esetén a víztakarékos öntözést jelenti. Ugyanakkor ennek környezetkímélő módon kell történnie, figyelembe véve például, hogy az egyébként is nitrátosodott és más szennyeződésekkel terhelt talajvizet tovább ne szennyezzük, hiszen ehhez kapcsolódnak az ivóvízellátás javításával kapcsola-

tos elengedhetetlen fejlesztések. Világosan látszik, hogy a globális és a lokális fejlődés nincs összhangban. A fejlődő országok nagy részénél a globális fejlődés kedvezőtlenül hatott a lokálisra, olyan értelemben, hogy tovább növelte a fejlett és fejlődő országok közötti szociális különbségeket (Molnár, 2018).

A fejlődő országok fejletlensége előnyös lehet abból a szempontból, hogy például az energiaellátás fejlesztésénél már eleve a korszerű „zöld”, megújuló energiákat tudják előnyben részesíteni (Czirják–Klemensits, 2018).

Jelenleg az IoT intenzívebb elterjedését a magas beruházási és karbantartási költségek, az üzemeltetéshez szükséges tudás hiánya, az alacsony szintű közbiztonság, az egyéb infrastruktúra hiánya és az alacsony szintű internet-szolgáltatás gátolja. Növelni kell az internet felhasználásával végezhető oktatást is.

Az IoT használatának lehetőségei a fejlődő országokban is széles körűek: a közművek felügyelete, a legelő állatok tartózkodásának a nyomon követése, a közlekedés biztonságának a javítása, az egészségügy fejlesztése, a balesetmentes munkahelyek kialakítása, a környezet monitoringja: szélsőséges időjárási események, ciklonok, árvizek, aszályok előrejelzése. IoT-rendszer segítheti, ellenőrizheti, hogy a vakcinák szállításakor a hűtőkocsik hőmérséklete az előírt tartományban maradjon (Miazi et al., 2016).

Az Oxfordi Egyetem kutatócsoportja IoT-rendszerrel ellenőrizte a kézi üzemeltetési kutak használatának jellemzőit. Az adatok feldolgozása révén olyan megelőző karbantartási programot dolgoztak ki, amely révén a kutak meghibásodása gyakorlatilag megszűnt (URL2). Az IoT-rendszerek révén a kutak arzénterhelésének felügyelete is ellátható. Az IoT-rendszerben működtetett vízszivattyúk meghibásodásakor a karbantartókat SMS-sel lehet értesíteni. Mozgásérzékelőkkel és vízárammérőkkel lehet ellenőrizni, hogy a lakosok milyen gyakran mosnak kezét.

Nemcsak az energiaellátásnál, de más területen is behozhatják a lemaradásukat a fejlődő országok: például a rossz útviszonyok esetén a sürgősségi vérellátás drónok használatával oldható meg. Ezzel a többórás szállítási idő jelentősen csökkenhet.

UTÓIRAT

A dolgozat a fejlett és fejlődő világ konvergenciájának a lehetőségeit igyekezett bemutatni. Szerencsére már az IoT-világcégek is indítanak programokat a fejlődők felzárkózásának segítésére, egyben hozzájárulva az ENSZ SDG (Sustainable Development Goals: Fenntartható Fejlődési Célok) programjának megvalósulásához.

Amikor a témában az MTA Székházában a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából, a kiemelt rendezvénysorozat keretében előadást tartottam (2019. november 11.), még senki nem gondolta Magyarországon, hogy ilyen váratlan és

globális vírusfertőzés fogja az egész világot térdre kényszeríteni. Ennek, az emberiség számára várhatóan jelentős változást hozó pandémiának egy pozitív hozadéka bizonyosan lesz: ráirányítja a figyelmet, hogy az emberiség és a körülötte lévő élő és élettelen világ kapcsolatában teljesen más utakra kell térni. Hiszek abban, hogy van még visszaút. Ehhez azonban az élővilágot egyenrangú partnernek kell tekintenünk. Olyan ismeretekre kell ismét szert tennünk, amelyek korábban a tudatunk részét képezték. Ellenkező esetben nem a fenntarthatóságunk, hanem a fennmaradásunk kerül veszélybe. Jelenleg súlyos környezetvédelmi és ökológiai bűnöket követünk el, veszélyeztetve a jövő generáció létét. A kutatók felelőssége is jelentős. Ilyen nagy adatbázisokat sem a természetvédők, sem az agrármérnökök más formában nem, csak a fent említett módon tudnak rögzíteni. Ezzel az agrárökológiai, illetve agrár- és természetes ökológiai rendszerek kapcsolatát leíró modellek pontossága jelentősen növekedhet. Hiszek abban, hogy egyszer eljutunk oda, hogy – Karinthy után szabadon – az igazságot és nem a magunk igazát keressük, és az agrár- és természetes ökológiai rendszerek kutatói az eddigieknél sokkal hatékonyabban fognak együttműködni (Neményi, 2013).

Külön kell szólni a fejlődő világról és azon belül a több mint egymilliárd éhező földlakosról. A történelemben már volt sikeres program az éhezés felszámolására. A Norman Borlaug professzor nevéhez fűződő *zöld forradalom* tapasztalataira alapozva, meddő tanácskozások helyett a korszerű IKT, az IoT lehetőségeinek felhasználásával hatékony lehetne egy ilyen világméretű program.

A cikk megírásához szükséges kutatásokhoz a „Tématerületi Kiválósági Program – 2019 (TUDFO/51757/2019-ITM)” és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást.

IRODALOM

- Czirják R. – Klemensits P. (2018): *GeoDebates: A negyedik ipari forradalom hatása a fejlődő világra*. PAGEO, Geopolitikai Kutatóintézet, <http://www.geopolitika.hu/hu/2018/03/12/geo-debates-a-negyedik-ipari-forradalom-hatasa-a-fejlodo-vilagra/>
- Longchamps, L. – Tremblay, N. – Panneton, B. (2018): *Observational Studies in Agriculture: Paradigm Shift Required Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture*. June 24 – June 27, 2018 Montreal, Canada, <https://internationalsocietyofprecisionagriculture.org/proceedings/?action=download&item=5436>
- Miazi, N. S. – Erasmus, S. – Razzaque, A. et al. (2016): Enabling the Internet of Things in Developing Countries: Opportunities and Challenges. *International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*. DOI: 10.1109/ICIEV.2016.7760066, https://www.researchgate.net/publication/311757185_Enabling_the_Internet_of_Things_in_developing_countries_Opportunities_and_challenges
- Molnár Sz. (2018): A negyedik ipari forradalom nem várt hatásai. *E-Közigazgatás*, 43–51. http://kozszov.org.hu/dokumentumok/UMK_2018/3/06_Negyedik_ipari_forradalom.pdf

- Neményi M. (2013): Hozzászólás Láng István és Kerekes Sándor *Megalakult a Túlélés Szellemi Kör* című írásához. *Magyar Tudomány*, 174, 3, 326–329. <http://www.matud.iif.hu/2013/03/12.htm>
- Nyéki A. – Kerepesi Cs. – Daróczy B. et al. (2019): Maize Yield Prediction Based on Artificial Intelligence Using Spatio-temporal Data. In: Stafford, J. V. (ed.): *Precision Agriculture'19*. 1011–1017. DOI: 10.3920/978-90-8686-888-9, https://www.researchgate.net/publication/334306827_Maize_yield_prediction_based_on_artificial_intelligence_using_spatio-temporal_data
- Nyéki A. – Milics G. – Kovács A. J. et al. (2017): Effects of Soil Compaction on Cereal Yield: Review. *Cereal Research Communications*, 45, 1, 1–22. DOI: 10.1556/0806.44.2016.056, <http://real.mtak.hu/50399/1/0806.44.2016.056.pdf>
- Tilman, D. (1998): The Greening of the Green Revolution. *Nature*, 396, 211–212. DOI: 10.1038/24254, <https://www.nature.com/articles/24254>
- Tilman, D. – Cassman, K. G. – Matson, P. A. et al. (2002): Agricultural Sustainability and Intensive Production Practices. *Nature*, 418, 671–677. DOI: 10.1038/nature01014

URL1: <https://www.quotetab.com/quotes/by-norman-borlaug>

URL2: <https://barbaraiot.com/articles/iot-developing-countries/#>

Ki a tudós?

A TUDOMÁNY: ÖNVÉDELMÜNK

SCIENCE: OUR SELF DEFENCE

Vámos Tibor

az MTA rendes tagja
vamos@sztaki.mta.hu

A TUDÓS

Fogalmaink megfigyelések és meggondolások alapján összeálló eszközök. Mind a három meghatározó, a megfigyelés, a meggondolás és az eszköz egyenként is elárulja az életben nélkülözhetetlen fontosságot és az ellenőrzés állandó, lehetőleg tudatos szükségességét.

Így vagyunk a 'tudós' szóval és fogalommal is, megterhelve azzal, hogy a szó használatos jelzőként, embertípus megjelöléseként és foglalkozási ágként is.

Miben tudós, milyen tudós?, következik a szó hallatán, mintegy önműködően. A Magyarországon is működött Regiomontanus (königsbergi Johannes Müller) a maga korának egyik legnagyobb és legszélesebb látókörű tudósa volt, elsősorban a csillagászatban és a matematikában, de főként az asztronómia hamis tudománya ködéiben, úttörő geometriai táblázatai ma egy kisiskolás gyermek számára sem magas tudományok. A mai tudományos és gyakorlati életben tömegével dolgoznak magasan képezett okos és szorgalmas emberek, akik egy részletismeret kibontásával és esetleges felhasználásával nélkülözhetetlen munkát végeznek, de akármelyik nagy elismert példakép mértékében csak megértő jóindulattal tekinthetők tudósoknak.

A Regiomontanus-utalás szemléltető példa a tudomány és áltudomány egyik viszonylatára. A másik a tudatos szélhámós, aki tudja, hogy csal, de ebből kitűnően megél, és néha még igazának tűnő eredményre is jut, mint az alkímia gyakorlóinak többsége. Közülük sokan valóban őszintén hittek hókuszpókuszaikban. Egy másik képlet Semmelweis Ignácé, aki nem tudhatta, hogy mikrobaikat és egyéb bomlási méreganyagokat távolít el, de Louis Pasteur előtt ráérezett valamire, amivel életet mentett. Pasteur elismert tudós lett, Semmelweis hányatott életútját ismerjük.

Akkor miért harcolunk az áltudományok és képviselőik ellen? Van tudományos diszciplínákon kívüli kritériumunk: az állítások reprodukálásban el-

lenőrizhető megmérése és főleg a hasznosság és károkozás vizsgálata. Ilyen utóbbi a védőoltások elleni érvelés vagy a bevált és ígéretes gyógymódok elutasítása. Ide sorolhatjuk a rosszindulatú érzelmek keltését, üzleti és halmai célú befolyásolást.

Egyébként legyünk óvatosak jelzőink és minősítéseink használatában.

VÁLTOZÁSOK A TUDOMÁNY KÖRÜL

Támadják a Tudományt, azaz a világ megismerésének hivatását. Olyan régi ez a folyamat, mint maga a hivatás, de manapság a megszokott források bővültek, a szereplők nemcsak az aktuális tévhitek és zavaros személyiségek, hanem a társadalom befolyásos körei is. A változás oka a tudomány önálló gazdasági és társadalmi helyzete. A megismerési tevékenység minden korábbi területen túl is kiszélesedett a tudományunk által létrehozott mesterséges világunk egészére.

A nehezen határolható tudománydefiníciók helyett a következők adnak körvonalazható nézeteket.

Az embert tudománya emelte ki az állatvilágból. Demonstrációként szolgálhatna az az installáció, amely az őskortól napjainkig, korszakonként bemutatná, hogyan módosult az ember és léte a tudománya eredményeként. Ez a demonstráció az európai tudományt és életformát követi, és azokat a más kultúrákat, amelyek más, esetleg hasonló gyökerek mellett is, napjainkra ezt az utat sajátították el. A kirándulás után feltehetjük közönségünknek a kérdést: melyik korszakban szeretnének élni, vállalva az akkori élettartamokat, gyermekhalandóságokat, rendszeres éhínségeket, fázást, zsúfolt lakásviszonyokat, utazási kényelmetlenségeket, testi és lelki gyötrelmeket?

Valamennyi állomáson voltak elkülönült szakértők: írástudók, orvosok, különleges felkészültségű mesteremberek, de az utolsó évszázadok folyamán két tényező gerjesztette egy anyagi háttérben és felkészültségében elkülönült szektor növekedését: az egyik a feladatok és megoldások bonyolultabbá válása, a másik, az eredmények tömegesedése. Ez a két tényező kapcsolta össze és választotta szét a tudományt, annak művelőit és a társadalom többi, egyre inkább érdekeltté vált rétegeit.

BONYOLULTSÁG ÉS KÖZÉRTHETŐSÉG

A bonyolultság a közérthetőség egyre erősebb gátja. Olyan jellegű és mértékű, ami az egyes szaktudományokon belül is elhatárol, más alapokat, más nyelvet és más figyelemfókuszálást követel. Ugyanakkor elkerülhetetlen, hiszen éppen a tudományos kutatás, a megismerés előrehaladása tárta fel azokat a kimerít-

hetetlen mélységeket, amelyek a jelenségek valódi hátterében működnek. A korábbi világnézetek olyan hiteket sugalltak, amelyek szerint a világ egységes eszközökkel leírható, és így megérthetővé válik. Az utolsó ilyen hit a Bertrand Russell és David Hilbert nevével jelzett remény, a világ jelenségeinek egységes matematikai, logikai módszerekkel megközelíthető általános leírása volt. Ezzel az, a már a bonyolultság magasságait ostromló elképzelés, hogy ez az összefoglaló látvány, így a Maxwell-egyenleteké az elektromágnesesség teljességéről és a Hamilton-egyenleteké az egyensúlyok és változások energia jellegű átfogásáról az Egész hiteles magyarázata felé mutatnak, és megfelelő felvilágosító-oktató munkával az ezekhez fűződő világkép a szélesebb emberi közösségek számára is beláthatóvá válik. A huszadik század elejére, a kvantumelmélet, az általános relativitáselmélet, a logikák sokfajtsága, ebben a gödéli eredmények és a társadalmi mozgások fenyegető irracionalizmusa a világos megmagyarázhatóság reményeit megdöntötték. Szembekerültünk a világ végtelen arcú sokféleségével és azzal a felismeréssel, hogy az egyszerűsítő, összefoglaló tudományos eszközök, ebben a matematika is, nem közelíthetik meg ezt a valóságot. A részeredmények és speciális eszközök tömege ugyanakkor eddig beláthatatlan, gyakorlatban is működő közelítéseket szolgáltatott a mindennapok számára is. Így a bonyolultság nem a tudományos közösségek misztikuma, hanem a mindennaposá vált világunk szükségszerű probléma- és eszközrendszerbeli valóságává lett.

TÖMEGESEDÉS

Az utolsó mondat félelmetessége a siker tömegesedésével párosult. A tömegesedés a tudományos, kísérleti eredmények hatalmas megerősödésének továbblépése, újabb termékeny invenciót, számos korábbi tudományos eredmény szintézisét, új technológiák létrehozását és bevezetését, hatalmas gazdasági koncentrációk születését gerjesztette. A modern értelemben használt 'innováció' fogalom ebben testesült meg. A szellemi kiválasztottak és anyagiakban gazdag rétegek korábbi, privilegizált tulajdona, életformája és lehetőségei ennek révén váltak általánossá, először a világ gazdagabb régióiban, de terjedt tovább a korábban viszonylag elmaradottabb területeken is. Így váltak a bevezetőben felsorolt, mai haladás részeseivé.

A hova vissza rousseau-i kérdés az elsősorban európai jellegű világokban lett észszerűtlen. Az európai jelleg is ennek a folyamatnak nyomán bővült megállíthatatlanul globális hatássá, még a legnagyobb, más kulturális hagyományú vidékeken is. Ez tette aktuálissá a humánus szerepideálok széles körű felmerülését, a régi kérdés megújulását: mi végre vagyunk a világban?

AZ ÁRNYÉKOK OLDALA

Nem feledkezhetünk meg mindezek visszajáról, a tudomány és a kapcsolódó technikák felhasználásának borzalmairól, genocídiumokról, háborúkról, elnyomásokról, szellemi sivatagosodásokról. A tömegesedés és annak fő technikai eszközei, az információs technológiák felszínre szorították az embercsoportok együttműködésének és irányításának ősi alapproblémáit.

Ide kapcsolódik a tudomány és a természeti környezet viszonya. Az ember majdnem a történelem kezdete óta rombol, gondoljunk csak a területeket sivataggá változtató erdőirtásokra, lelegelt vidékekre, a nyomor túlnépesedéseire vagy később, a szénkorszak légszennyezésére. A tudomány tudatosított, és létrehozta a bölcsebb kompromisszumok, az élhető világ reményének eszközeit.

TÁJÉKOZÓDÁSI KAPASZKODÓK

Mindezekről gondolkodva jogos a kétely: hol vannak a tudomány, a technika megbízhatósági határai, mit és hogyan lehet elfogadnunk egy ilyen, a közembereket egyre általánosabban befolyásoló közegből s annak hatásaiból?

Az után a tudományszemléleti fordulat után, amit a mindent kiszámító és rendszerbe foglaló tudományhittel szemben a mai gondolkodásmódunk sugall, azt kell mondanunk, hogy abszolút mértékeink nincsenek, és nagy valószínűséggel nem is lesznek, vagy, ahogy Esterházy Péter fogalmazza egy Jorge Luis Borgestől vett idézettel: *Egyébként a főkérdés megoldhatatlan: a végtelennek akárcsak részleges felsorolása.*

Van azonban az esetek többségében jól hasznosítható osztályozó elvünk, amit elsősorban az orvostudományból kölcsönzünk. Ez a következtetések reprodukálásának kritériuma és ehhez kapcsolódva az adott válasz, módszer, elgondolás eredményességének vizsgálata. A bizonytalanságok itt is feltűnőek, hiszen mindig kérdéses az azonos körülmények reprodukálásának követelménye és hasonlóan az eredményességek szempontjainak sokszínűsége. A mostani koronavírus járvány kapcsán mindezzel találkozunk.

Sokkal nehezebben kezelhetők a kevésbé feldolgozott, kisebb közvetlen aktualitású ismeretterületek, így a társadalomtudományok, de ez alól nem kivétel a konkrétan kezelt műszaki szféra. Egy-egy gyártmány ismertetője is számos előnyös és ugyanakkor óvatosságra intő jellemzőt sorol fel.

Miként az idézett és megszámlálhatatlan egyéb példa mutatja, ismereteink és e mögött ott áll a tudomány, a valóság, ami végtelen arculatával nem szorítható teljesen és véglegesen kemény formulakeretekbe. Ez mutat rá a probléma izgalmas, életünk minden jelenségét befolyásoló sajátosságára. Élünk, működünk, minden pillanatunkban ismeretekre támaszkodunk, olyanokra, amelyek kétes szilárdságát is ugyanilyen tényként kell tudomásul vennünk.

A TUDOMÁNY MINT A TERMÉSZET, AMIT LEKÉPEZNI IGYEKSZIK

Van ilyen: ez a természet, a maga élő, működő, állandóan változó valósága. Amivel ebben a látszólagos és valóságos kuszaságban mégis némi sikerrel tájékozódunk, az a tudományunk, annak nyitottságával és pillanatnyi tudatállapotunk eddig sikeres biztonságával.

Az *eddig* az emberiség eddigi útjára vonatkozik, annak neumanni, optimista következtetésével:

„Az az egyetlen szilárd tény, hogy a nehézségek a hasznos és építő, de ugyanakkor veszedelmes fejlődésnek tulajdoníthatók. Alkalmazkodni tudunk-e a szükséges gyorsasággal? A legtöbb reménnyel az a válasz biztat, hogy az emberi nem már kiállt hasonló próbákat és úgy látszik, veleszületett képessége van arra, hogy változó mennyiségű baj után mégis felülkerekedjék. Előre kész receptet kérni nem lenne ésszerű. Csak a szükséges emberi tulajdonságokat határozhatjuk meg: türelem, rugalmasság, intelligencia.”¹

A metaforák és irányelvek adnak-e eligazítást az orvoslás gyakorlatának hasonlóan ősi kérdésére, az itt felvetett *nil nocere*, az ártalmasság problémájához? Talán az ellentettek felhasználásával. A reprodukálhatatlanság és az eredménytelenség, illetőleg káros eredmény bizonyításával, a neumanni felsorolást cáfoló tulajdonságokkal, a természetből kapott útmutatással, a sokfajtaságon alapuló evolúciós türelemmel, rugalmassággal és intelligenciával.

Az így fejlődő Tudomány szerepéről is az ősi tanulságot idézhetjük, Menenius Agrippa meséjét a test önálló és egymást nem nélkülöző szerepéről, esetünkben az emberiség agyáról, azzal a megjegyzéssel, hogy ezeknek a szerepeknek a viszonyai is módosulnak, ahogy az az evolúció évmilliói és ezrei alatt történt: ez a testrészt lett a legnagyobb és legdöntőbb.

A természethez hasonlóan a másik hatalmas emberformálással, a művészettel együtt, ez a kultúra maga. Őrizzük és ápoljuk bölcsen, fennmaradásunk érdekében!

¹ Fordította Augusztinovics Mária.

Vélemény, vita

FIATAL KUTATÓK NEHÉZSÉGEI A COVID–19 JÁRVÁNY ALATT

DIFFICULTIES OF YOUNG RESEARCHERS DURING THE COVID-19 PANDEMIC

Dékány Éva¹, Alpár Donát², Bálint Erika³, Béni Szabolcs²,
Csupor Dezső⁴, Gselmann Eszter⁵, Kóspál Ágnes⁶, Máté Ágnes⁴, Toldi Gergely²,
Török Péter⁷, Solymosi Katalin⁸

¹PhD, Nyelvtudományi Intézet, Budapest,

²PhD, Semmelweis Egyetem, Budapest,

³PhD, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest,

⁴PhD, Szegedi Tudományegyetem, Szeged,

⁵PhD, Debreceni Egyetem, Debrecen,

⁶PhD, DSc, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Budapest,

⁷PhD, DSc, Debreceni Egyetem, Debrecen, molinia@gmail.com,

⁸PhD, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

ÖSSZEFOGLALÁS

A COVID–19 járványhoz kapcsolódó rövid és hosszú távú magyarországi járványügyi intézkedések gazdasági és egészségügyi hatásait egyelőre nehéz felmérni. A rendkívüli járványügyi veszélyhelyzet következtében kialakult bizonytalan munkaerőpiaci helyzet, a kutatóintézeti és egyetemi épületek látogatásának (részleges) korlátozása, a laboratóriumi munka, beszerzések és a személyes kontaktust igénylő kísérletek ellehetetlenülése, a digitális távoktatásra történő átállás, a hazai és külföldi tanulmány- és mérőutak, konferenciák lemondása vagy elhalasztása mellett sok kutatót a kisgyermek(i) vagy hozzátartozó(i) egész napos otthoni ellátása is komolyan akadályozza kutatási céljainak megvalósításában. A nehézségek egyéni élethelyzettől függően eltérő mértékben befolyásolják az egyes kutatók munkáját. Jelentősen érintik a hazai kutatási és innovációs ökoszisztéma különlegesen fontos, ugyanakkor sérülékeny csoportjait, a pályájuk elején álló fiatal kutatókat, elsősorban a kutatónőket és a gyermeküket egyedül nevelő kutatókat. Ebben a publikációban arra szeretnénk rámutatni, hogy a hazai és nemzetközi pályázatok kiírói és a döntéshozók milyen sikeres és méltányos intézkedéseket hoztak a helyzet kezelésére, amelyek azonban megítélésünk szerint sok esetben nem kaptak megfelelő nyilvánosságot. Továbbá ajánlásokat fogalmazunk meg a döntéshozók felé a helyzet rövid és hosszú távú negatív következményeinek mérséklésére, ezen belül elsősorban a következő főbb területekre koncentrálna: 1. egyéni kérvények és egyedi elbírálás alapján a kutatók kapjanak lehetőséget a különféle ösztöndíjak és pályázatok teljesítési, pénzügyi lezárási és beszámolósi határidejének meghosszabbítására; 2. A döntéshozók törekedjenek a munkahelyek és a pályázati források megőrzésére a járvány várható negatív következményei ellenére.

ABSTRACT

The medical and economic consequences of the short- and long-term measures associated with the COVID-19 pandemic in Hungary are still unpredictable. In addition to being affected by the insecure labour market situation, the (partial) closure of research institutes and university buildings, the inability to perform laboratory work or to conduct experiments requiring human contact, the impossibility of obtaining research supplies and equipment, the transition to digital distance teaching techniques, the cancellation or postponement of national and international study- and research trips and conferences due to the epidemic-related emergency situation, many scientists were hindered in the realisation of their research goals due to their 24-hour home duties associated with their small children or family members. Depending on their specific situation, these difficulties affect the research activities of individual researchers differently. However, these difficulties continue to have strong impact on some highly important, but vulnerable groups of the national research and innovation ecosystem such as early-career researchers, especially women and single parents. In this publication we would like to outline the successful and equitable response measures taken by international and national funding agencies and decision makers so far, which, in our opinion, were not always publicised enough. Furthermore, we would like to formulate general recommendations for decision makers with the aim of mitigating the short- and long-term negative impacts of the situation, focusing on two main areas. 1. Based on individual requests and evaluation, funding agencies should grant a deadline extension for scientific and financial reporting and for the closure of various grants and scholarships. 2. In spite of the expected negative effects of the pandemic, decision makers should aim to preserve funding resources and workplaces in science.

Kulcsszavak: COVID–19 világvjárvány, fiatal kutatók, kisgyermekes kutatók, pályázati teljesítési és jelentési határidők meghosszabbítása

Keywords: COVID-19 pandemic, young researchers, researchers with small children, extension of grant execution and report deadlines

1. BEVEZETÉS

A koronavírus-betegséghez (COVID–19) kapcsolódó járvány az egész világ életét felforgatta, egészségügyi és gazdasági következményei egyelőre beláthatatlanok. A krízis rövid és hosszú távú kezelésében és a megoldások keresésében az egészségügyi dolgozók mellett felértékelődtek a kutatók is, akiktől a közvélemény és a döntéshozók is hiteles tájékoztatást, előrejelzéseket és a betegség, illetve annak társadalmi következményei elleni hatásos segítséget várnak. A Fiatal Kutatók Akadémiája (FKA) a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) Kommunikációs Főosztályával közösen rendezett Tudománykommunikációs workshopján (URL1) már 2020. február 5-én aktívan részt vett a koronavírussal kapcsolatos hiteles tájékoztatásban, később lefordította és megjelentette (URL2) a Global Young

Academy járvánnyal kapcsolatos nyilatkozatát (URL3). Van olyan tagunk, aki laboratóriumával együtt átállt több műszakban a tömeges koronavírus-tesztelésre (URL4), és olyan is, aki orvosként járul(t) hozzá a frontvonalakon zajló küzdelemhez (URL5).

A világjárvány és különféle következményei a magyar társadalom minden tagját érintik, igaz, nem egyforma mértékben és módon. Ugyanez mondható el a felsőoktatási, kutatási és innovációs ökoszisztéma tagjairól is. A FKA tagjaiként úgy érezzük, hogy viszonylag kevés szó esik a fiatal kutatók speciális nehézségeiről és ezek észszerű és méltányos enyhítésének lehetőségeiről is, különösen a hazai közéletben.

2. CÉLKITŰZÉS

Jelen publikációnk a 2020. április 26-án a Fialat Kutatók Akadémiájának honlapján magyar nyelven (URL6), illetve a Global Young Academy honlapján angolul (URL7) közzétett nyilatkozat kibővített változata. A nyilatkozat ilyen formájú publikálásával hangsúlyosan fel szeretnénk hívni a döntéshozók, valamint a pályázatkíró és -értékelő testületek figyelmét a fiatal kutatók helyzetének néhány speciális kihívására. A járvánnyal kapcsolatos intézkedések és ezek utóhatásai nem egyforma mértékben érintik a kizárólag elméleti tudományterületeken tevékenykedőket, illetve azokat, akik emberi kontaktust igénylő vagy kísérletes tudományterületen dolgoznak, például nagyműszereket, terepmunkát, utazásokat feltételező vagy vegyszereket, folyamatos laborjelenlétet igénylő vizsgálatokat végeznek. A kutatásaik mellett klinikai gyógyító munkát végző kollégákra is többlet teher kerül(het)t, az egyetemeken oktatói-kutatói státuszban dolgozók esetében pedig a megváltozott egyetemi oktatási feladatok és az azokhoz szükséges többletenergia-befektetés jelentett kihívást. A társadalom többi tagjához hasonlóan jelentős feladatok hárultak azokra a kutatókra is, akiknek ezalatt az időszak alatt el kellett látniuk családtagjaik otthoni ápolását, vagy kisgyermekes kutatóként az otthoni gyermekfelügyeletet és az ehhez kapcsolódó oktatási és étkeztetési feladatokat is.

A járványügyi (veszély)helyzettel kapcsolatos intézkedések és ezek következményei egyéni élethelyzettől függően, sok esetben életkortól függetlenül is kihatnak a kutatási tevékenységre és teljesítményre. A fiatal kutatók sajátos sérülékeny karrierhelyzetük miatt fokozottan kitettek a napjainkban egyre nagyobb veszélyként kibontakozó gazdasági és munkaerőpiaci változásoknak, ezért fontosnak tartjuk összegyűjteni és bemutatni az őket érintő nehézségeket. Ezenkívül a már létező hazai és nemzetközi megoldások (best practices) összefoglalásával, illetve további ajánlások megfogalmazásával segíteni kívánjuk a fiatal kutatókat és a döntéshozókat abban, hogy mérsékelhetőek legyenek a helyzet negatív

következményei a hazai és nemzetközi kutatási és innovációs ökoszisztémában. A hatékony intézkedések elmulasztása miatt ugyanis erősödhet a járvány hatása-ként a Máté-effektus (Merton, 1968; Bol et al., 2018), ezzel pedig a legnehezebb és legkiszolgáltatottabb helyzetben lévő, általában pályakezdő vagy fiatal kutatók hátránya és esetleges kiesése révén tovább csökken a tudományos közélet diverzizációja. Ezeknek a kedvezőtlen folyamatoknak az elkerülése nemcsak az egyéni kutatói sorsok miatt fontos szempont, hanem a teljes szektor versenyképességének megőrzése miatt is (Corbera et al., 2020; Park, 2020).

3. A NEHÉZSÉGEK ÁTTEKINTÉSE

3.1. Munkaviszonnyal, munkavállalással kapcsolatos nehézségek

A határozott idejű szerződéssel rendelkező munkatársak egy része egzisztenciálisan bizonytalan helyzetbe került, mivel több hazai és nemzetközi intézmény áprilistól csak egy hónapos időtartamra hosszabbította meg a meglévő munkaszerződéseket (Park, 2020). Emellett voltak és vannak olyan intézmények is, amelyek likviditásuk megőrzésének érdekében korlátozzák, illetve speciális engedélyeztetési eljáráshoz kötik az új szerződések megkötését még az intézmények központi költségvetésétől független, külső pályázati források esetében is. Az aktuálisan éppen munkát kereső vagy váltó kutatók álláskeresése rendkívül nehezévé vált (Middleton, 2020; Park, 2020; Yan, 2020). Ez a probléma többnyire a pályájuk elején álló kollégák számára jelent nehézséget és létbizonytalanságot, de érinti a pályázatok témavezetőit és az idősebb kutatókat is, mivel a munkaerőhiány a pályázatok és ösztöndíjak teljesítését is megnehezítheti (lásd 3.2. fejezet).

3.2. Pályázati teljesítésekkel kapcsolatos további nehézségek

A fenti pontban említetteken kívül a járványügyi helyzet miatt a kutatási források hozzáférhetősége és a kutatásban hivatalosan részt vevők munkavégzése is sok esetben korlátozottá vált, ami akadályozta a kutatómunkát (Pain, 2020; Servick et al., 2020). Ennek következtében a pályázatok és ösztöndíjhoz kapcsolódó munkák teljesítései több szempontból is nehézségekbe ütköznek. Az alábbiakban ezeket a nehézségeket vettük számba.

1. A kutatásokban részt vevő BSc- és MSc-hallgatók a felsőoktatási intézmények és/vagy kutatóintézetek járványügyi szabályozása következtében a legtöbb esetben nem járhattak és járhatnak be az intézményekbe, egyes épületekbe pedig teljes mértékben korlátozták a bejutást. A doktoranduszok és a fiatal kutatók munkavégzése is megnehezedett a karanténhoz kapcsolódóan, különösen a kisgyermekes kutatók esetében. A velük való kapcsolattartás

online platformokra korlátozódott, ezek sikeressége és hatékonysága azonban nagyban függhet(ett) a hallgató vagy kutató technikai felszereltségétől is.

2. A kutatók és kutatási alanyok között humán kontaktust igénylő kísérleteket – a járványüggyel összefüggő orvosi kísérletek kivételével – tavasszal teljesen le kellett állítani, ami hátráltatja a kutatási projektek megvalósulását.
3. Több intézményben a kutatáshoz kapcsolódó, pályázati forrásokból történő beszerzéseket is befagyasztották vagy korlátozták, így egyes kísérletek megvalósításának és tervezhetőségének készletbeli, adminisztrációs, illetve anyagi akadályai is vannak.
4. Külföldi tanulmány- és mérőutakat, hazai és külföldi levéltári vagy könyvtári kutatásokat, terepmunkákat és az eredmények hatékony disszeminációját segítő konferencia-részvételeket, szemináriumokat mondtak le világszerte, illetve halasztottak el. Emellett számos kiemelt nemzetközi kutatási infrastruktúrát (többek között obszervatóriumokat, részecskegyorsítókat stb.) érintettek a bezárások, amelyek gátolják a teljes nemzetközi kutatói közösség munkáját és az adatokhoz való hozzáférést.
5. A beszerzések és utazások befagyasztása megakadályozhatja a megítélt kutatási támogatás felhasználását a pályázat lejárta előtt.
6. A tudományos publikációk bírálati folyamata megfelelő bíráló hiányában lelassulhat, illetve különös nehézséget jelenthet olyan esetekben, amikor a bírálók kiegészítő és megerősítő méréseket, további kísérletes munkát kérnek (Pain, 2020). Ez a kérdés elsősorban a doktoranduszok vagy határozott idejű szerződéssel rendelkezők, illetve pályázati vállalásokat teljesítők számára jelent kiemelkedő nehézséget.
7. Az egyetemi oktatásban részt vevők számára a digitális távoktatásra való átállás rengeteg többletmunkával jár: ilyenek az új digitális platformokon használandó digitális tananyagok, oktatóvideók, segédanyagok, vizsgamodulok készítése, valamint az online óratartás, vizsgáztatás és konzultációk.
8. Az egyéni élethelyzettel kapcsolatban egyéb speciális és halaszthatatlan feladatok is megjelentek a kutatók életében. A kisgyermekes családok esetében – a más területeken dolgozókhöz hasonlóan – a gyermekfelügyelet, a gyermekek étkeztetése, valamint digitális oktatásának menedzselése jelentős többletterhet ró az adott esetben otthonról kutatási és oktatási feladataikkal foglalkozó fiatal kutatókra, elsősorban a kutatónőkre (Minello, 2020), illetve a gyermeküket egyedül nevelőkre. Hasonlóan sok esetben a középgenerációra és elsősorban a nőkre hárul az idősebb családtagok ápolása, gondozása, számukra a bevásárlások intézése. A megnőtt feladatok összeadódva irracionális elvárásokat támasztanak a kutatókkal szemben, és tovább fokozzák a kutatási verseny miatt egyébként is komoly kihívásokat. A jelenség hatását jelzi, hogy egyes területeken a járványhelyzetben kimutathatóan csökkent a

nők által benyújtott kéziratok száma (Viglione, 2020; URL8–10), és bizonyos szakterületeken az ő állásaik kerültek a leginkább veszélybe (URL11). Tegyük hozzá a bármikor bekövetkező óvoda- és iskolabezárások miatti teljes bizonytalanságot, a nyári táborok, nagyszülői és egyéb, akár fizetett külső gyermekfelügyelők vagy háztartási kisegítők, idősápolók hiányát, valamint a válsághelyzet tartós és beláthatatlan elhúzódását. Ezek a további tényezők még inkább ellehetetlenítik a tervezett kutatómunka realizálását.

4. EDDIGI INTÉZKEDÉSEK ÉS TOVÁBBI AJÁNLÁSOK

A Fiatal Kutatók Akadémiája üdvözli, hogy a helyzet nehézségeit felismerve több, pályázatot és ösztöndíjat kiíró és értékelő szervezet önmagától is hozott intézkedéseket. Ezeket elsősorban követendő példaként szeretnénk a többi szervezet számára – a teljesség igénye nélkül – felsorolni. Az Innovációs és Technológiai Minisztérium mint támogató jóváhagyásával a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) több pályázat, köztük a Tématerületi Kiválósági Program, a Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program és a fiatal kutatókat és kutatói utánpótlást nagy arányban érintő Új Nemzeti Kiválósági Program (ÚNKP) pályázatai részére megítélt támogatás felhasználási határidejét kitolta az év végéig (URL12). A többi NKFIH-alapból támogatott projekt esetén pedig a veszélyhelyzet időtartamával megegyező mértékben meghosszabbította (URL13), amennyiben a projekt 2020. március 11-én megvalósulás alatt állt, és a vészhelyzet megszűnésének napjáig megvalósul. Az MTA a 2020-ban lejáró Lendület, Prémium Posztdoktori és egyéb pályázatainak zárási határideje pedig a kérelmező indokolt egyéni kérelme alapján 2020 végéig meghosszabbítható (Akadémiai Értesítő, 2020). Hasonlóképpen az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Kuratóriuma szintén lehetőséget nyújt a járványügyi veszélyhelyzettel kapcsolatosan benyújtott egyéni kérelem egyedi elbírálása alapján az ösztöndíj beszámolási határidejének módosítására. Hasonló intézkedések történtek a német Deutsche Forschungsgemeinschaft és az Európai Unió egyes pályázatainál (ERC és Horizon 2020 – URL14). E lépések fontosságára a Young Academy of Europe tagjai is felhívták a figyelmet (Husby–Modinos, 2020). Utóbbi szerzők a teljesítési, pénzügyi lezárási és beszámolási határidők meghosszabbításán túl megfontolásra javasolják a pályázatok és ösztöndíjak kiírói számára az eredetileg megítélt pályázati összeg kiegészítő növelését is, elsősorban a PhD-hallgatók, posztdoktorok és fiatal vezető kutatók munkájának segítése érdekében.

Az Egyesült Államokban a fiatal kutatók karrierjének előrehaladását vizsgáló, és ezzel összefüggésben a határozatlan idejű kinevezésről döntő bizottságok értékelését (tenure-track review) is jellemzően egy évvel elhalasztják, ezzel is elismerve, hogy a jelenlegi helyzetben a kutatók szakmai fejlődése és az előmenetele-

lüket befolyásoló tevékenység a korábbi ütemben nem tartható fenn (Yan, 2020). Az akadémiai ökoszisztéma nagyon jelentősen támaszkodik a fiatal kutatói réteg munkájára, így az ő megóvásuk a tudományos közösség egésze számára közös érdek (Park, 2020).

Emellett sokan tartanak attól, hogy a járvány hosszú távú gazdasági hatásainak következtében csökkenni fog a felsőoktatási és kutatási, valamint innovációs területekre fordított támogatás, különösen a fiatal kutatói pályázati források és állások mennyisége, amelyekre a döntéshozóknak kiemelt figyelmet kellene fordítaniuk (Yan, 2020).

Mindezek figyelembevételével, a járványügyi helyzetre való tekintettel arra kérjük a hazai kutatók életpályáját jelentősen befolyásoló további kutatási pályázatok és ösztöndíjak kiíróit és a döntéshozókat, hogy 1) a támogatottak számára egyéni kérelem és méltányos egyéni elbírálás alapján tegyék lehetővé a pályázatok teljesítési periódusainak meghosszabbítását, illetve az elfogadott kérvények és a hosszabbítás ne érintse hátrányosan a jövőbeli pályázati lehetőségeiket és azok számát. 2) Amennyiben pedig ezt a lehetőséget biztosítják, azt megfelelő fórumon nyilvánosan is közöljék a pályázókkal és ösztöndíjasaikkal. 3) A tervezettség érdekében tisztelettel kérjük, hogy tájékoztassák a pályázókat, amennyiben a beadott pályázataik kapcsán megváltozik az elbírálás ütemezése vagy az eredményhirdetés időpontja.

Azzal is számolnunk kell, hogy a COVID–19 járvány jelentősen elhúzódik, és ehhez hasonló pandémia a jövőben bármikor bekövetkezhet. Ennek megfelelően véleményünk szerint hosszú távon megfontolandó a fenti intézkedéseknek a kutatási pályázatok és ösztöndíjak pályázati kiírásaiba és szabályzataiba való beépítése.

A fentiekén túlmenően fontosnak érezzük, hogy a kormányzati intézkedések legyenek tekintettel a kutatói szektorban dolgozó fiatal kutatók élethelyzetéből adódó nehézségekre, és a gazdasági és innovációs szektor támogatása mellett fordítsanak figyelmet az alapkutatás hazai bázisát képező fiatal kutatói réteg kiemelt támogatására és álláshelyeik megőrzésére is. Nem utolsósorban azért, mert ahogy azt a jelen járvány tapasztalatai megmutatták, ez egy olyan intellektuális és innovációs potenciál, amelyre krízishelyzetben az országnak szüksége van.

5. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS ZÁRÓ GONDOLATOK

Tisztában vagyunk vele, hogy a COVID–19 járvány a világon és hazánkban is óriási tömegeket sújt közvetve vagy közvetlenül, egzisztenciális és egyéb szempontokból is. Az FKA tagjaiként ugyanakkor úgy érezzük, hogy kötelességünk a fiatal kutatók nehézségeit a megfelelő fórumok és döntéshozók felé kiemelt módon képviselnünk.

Sok esetben a kutatók számára már pusztán a nehézségek tematizálása is segítséget jelent, ahogy az is, ha felhívjuk a figyelmüket a vonatkozó pozitív üzenetekre és intézkedésekre, valamint ezek nyílt kommunikációjának fontosságára. Több nemzetközi fórumon törekedtek ugyanis a járvánnyal kapcsolatos pozitív egyéni kutatói attitűd erősítésére és a hasonló pozitív gondolatok megfogalmazására is (URL15; Pain, 2020; Taylor, 2020).

Az FKA tagjai által 2018-ban a fiatal kutatók élethelyzetéről készített kérdőív felmérés egyértelműen rámutatott, hogy a határozott idejű szerződéssel rendelkezők már a világvjárvány előtt bizonytalan egzisztenciális helyzetben voltak, a kisgyermekes kutatók pedig már ekkor nagy százalékban panaszkodtak időhiányra és ennek következtében a munkájukkal kapcsolatos nehézségekre, versenyhátrányra és kilátástalanságra (URL16; Alpár et al., 2019). Az FKA egyik célja e felmérés alapján a fiatal kutatók érdekeinek képviselete az életpályájukat döntően befolyásoló hazai pályázati rendszer kiírói és döntéshozói irányába. Ehhez kapcsolódóan nemrég általános irányelveket és ajánlásokat fogalmaztunk meg, amelyek az igazságos és elfogulatlan versenyhelyzet, a minőségbiztosítás és átláthatóság, valamint a fiatal kutatók sajátos élethelyzetét tekintetbe vevő méltányosság kritériumai köré csoportosultak (Alpár et al., 2020). Úgy gondoljuk, hogy jelen publikációnk a fenti elvek jegyében segítheti a pályázati rendszer hasonló, rendkívüli helyzetekre adott válaszábanak jövőbeli optimalizálását is.

IRODALOM

- Akadémiai Értesítő (2020): A Magyar Tudományos Akadémia elnökének 1556/2020/KP számú utasítása a 2020-ban záró kutatási támogatások felhasználási idejének hosszabbítására vonatkozó eljárásrendről. *Akadémiai Értesítő*, LXIX, 5, 154.
- Alpár D. – Barnaföldi G. G. – Dékány É. et al. (2019): Fiatal kutatók Magyarországon – felmérés a 45 év alatti kutatók helyzetéről. *Magyar Tudomány*, 180, 7, 1064–1077. DOI: 10.1556/2065.180.2019.7.13, https://mersz.hu/hivatkozas/matud_f25927#matud_f25927
- Alpár D. – Dékány É. – Kiss G. G. et al. (2020): Magyarországi kutatási pályázatok és ösztöndíjak fiatal kutatói szemmel. Általános irányelvek és ajánlások a Fiatal Kutatók Akadémiájától. *Magyar Tudomány*, 181, 5, 703–712. DOI:10.1556/2065.181.2020.5.12, https://mersz.hu/dokumentum/matud__829
- Bol, T. – de Vaan, M. – van de Rijt, A. (2018): The Matthew Effect in Science Funding. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 115, 4887–4890. DOI: 10.1073/pnas.1719557115, <https://www.pnas.org/content/115/19/4887>
- Corbera, E. – Anguelovski, I. – Honey-Rosés, J. et al. (2020): Academia in the Time of COVID-19: Towards an Ethics of Care. *Planning Theory & Practice*, DOI: 10.1080/14649357.2020.1757891, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14649357.2020.1757891?scroll=top&needAccess=true>
- Husby, A. – Modinos, G. (2020): Support Early-career Researchers for Post-pandemic Prospects. *Nature*, 580, 185. DOI: 10.1038/d41586-020-01031-2, <https://www.nature.com/articles/d41586-020-01031-2>

- Merton, R. K. (1968): The Matthew Effect in Science. *Science*, 159, 3810, 56–63. DOI: 10.1126/science.159.3810.56, <http://www.garfield.library.upenn.edu/merton/matthew1.pdf>
- Middleton, C. (2020): Pandemic Creates Hurdles for Academic Job Seekers. *Physics Today*, DOI: 10.1063/PT.6.2.20200423a, <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.6.2.20200423a/full/>
- Minello, A. (2020): The Pandemic and the Female Academic. *Nature*, DOI: 10.1038/d41586-020-01135-9, <https://www.nature.com/articles/d41586-020-01135-9>
- Pain, E. (2020): How Early-career Scientists Are Coping with COVID-19 Challenges and Fears. *Science*, DOI: 10.1126/science.caredit.abc3177, <https://www.sciencemag.org/careers/2020/04/how-early-career-scientists-are-coping-covid-19-challenges-and-fears>
- Park, S. D. (2020): The Invisible University Is COVID-19 Positive. *Trends in Genetics*, DOI: 10.1016/j.tig.2020.05.010, <https://bit.ly/370pzLF>
- Servick, K. – Cho, A. – Couzin-Frankel, J. et. al. (2020): Coronavirus Disruptions Reverberate through Research. *Science*, 367, 6484, 1289–1290. DOI: 10.1126/science.367.6484.1289 1289-1290
- Taylor, L. A. (2020): Ten Work–life Balance Tips for Researchers Based at Home during the Pandemic. *Nature*, DOI: 10.1038/d41586-020-01059-4, <https://www.nature.com/articles/d41586-020-01059-4>
- Yan, W. (2020): Early-career Scientists at Critical Career Junctures Brace for Impact of COVID-19. *Science*, DOI: 10.1126/science.caredit.abc1291, <https://www.sciencemag.org/careers/2020/04/early-career-scientists-critical-career-junctures-brace-impact-covid-19>
- Viglione, G. (2020): Are Women Publishing Less during the Pandemic? Here’s What the Data Say. *Nature*, 581, 7809, 365–366. DOI: 10.1038/d41586-020-01294-9, <https://www.nature.com/articles/d41586-020-01294-9>

URL1: *Kutatói kommunikáció a klímaváltozástól a koronavírusig – workshopot rendezett a Fialatal Kutatók Akadémiája.* https://mta.hu/mta_hirei/kutato-i-kommunikacio-a-klimavaltozas-tol-a-koronavirusig-workshopot-rendezett-a-fialatal-kutato-k-akademiaja-110337

URL2: *Határokon átívelően: Fialatal kutatók és a Global Young Academy globális üzenete a COVID-19-ről.* <https://mta.hu/fka/hatarokon-ativeloen-fiatal-kutato-k-es-a-global-young-academy-globalis-uzenete-a-covid-19-rol-110622>

URL3: *Beyond Boundaries: A Global Message from Young Scientists on COVID-19.* <https://globallyoungacademy.net/gya-covid-19-statement/>

URL4: *Felrázott a kialakult helyzet – Fialatal kutató a tesztelés frontvonalában.* https://mta.hu/mta_hirei/felrazott-a-kialakult-helyzet--110634

URL5: *Koronavirus a neonatológus szemével – interjú Toldi Gergellyel.* https://mta.hu/tudomany_hirei/koronavirus-a-neonatologus-szemevel-interju-toldi-gergellyel-110635

URL6: *Fialatal kutatók nehézségei a járványügyi veszélyhelyzetben.* <https://mta.hu/fka/fialatal-kutato-k-nehezsegei-a-jarvanyugyi-veszelyhelyzetben-110623>

URL7: *Difficulties of Young Researchers under Covid-19 Crisis.* <https://globallyoungacademy.net/wp-content/uploads/2020/06/HYA-Covid-statement.pdf>

URL8: *Women Are Getting Less Research Done Than Men During This Coronavirus Pandemic.* <https://theconversation.com/women-are-getting-less-research-done-than-men-during-this-coronavirus-pandemic-138073>

URL9: *No Room of One’s Own.* <https://www.insidehighered.com/news/2020/04/21/early-journal-submission-data-suggest-covid-19-tanking-womens-research-productivity>

URL10: *The Decline of Women’s Research Production during the Coronavirus Pandemic.* <https://www.natureindex.com/news-blog/decline-women-scientist-research-publishing-production-coronavirus-pandemic>

- URL11: *Coronavirus Cutbacks Could Reverse Hard-fought Equity Gains in STEM Workforce*. <https://www.natureindex.com/news-blog/coronavirus-pandemic-job-cutbacks-reverse-equity-gains-women-in-stem-science-research-workforce>
- URL12: *Tájékoztatás támogatás felhasználására vonatkozó határidő módosításáról*. <https://nkfih.gov.hu/hivatalrol/hivatal-hirei/tajkoztatas-tamogatas-felhasznalasara>
- URL13: *Közlemény a COVID-19 fertőzés okozta humánjárvánnyal összefüggésben*. <https://nkfih.gov.hu/hivatalrol/hivatal-hirei/covid-19-fertozes>
- URL14: *Is There Any Possibility to Extend the Project Duration of Horizon 2020 Grants and to Increase the EU Funding Due to the COVID-19 Situation?* <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/support/faq/13117>
- URL15: *GYA Women in Science Stay and Work from Home: How Might We Make Covid-19 Lock-down Work for Us?* <https://globalyoungacademy.net/wp-content/uploads/2020/05/GYA-WiS-Paper-May2020.pdf>
- URL16: *Felmérés a 45 év alatti kutatók helyzetéről, karrierterveiről, nehézségeiről*. https://mta.hu/mta_hirei/a-stabil-kornyezet-a-legfontosabb-eloszor-keszult-felmeres-a-45-ev-alatti-hazai-kutatok-helyzeterol-109031

RUGALMASSÁG, PRODUKTIVITÁS VAGY ELSZIGETELTSÉG? AVAGY A COVID–19 HATÁSA A FELSŐOKTATÁSBAN OKTATÓK MUNKAVÉGZÉSÉRE

FLEXIBILITY, PRODUCTIVITY OR ISOLATION? THE IMPACT OF COVID-19 ON THE WORK OF LECTURERS IN HIGHER EDUCATION

Jarjabka Ákos¹, Kuráth Gabriella², Sipos Norbert³, Venczel-Szakó Tímea⁴,
Szabó-Bálint Brigitta⁵, Balogh Gábor⁶, Uhrin Anett⁷

¹PhD, habil. egyetemi docens, Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar
jarjabka.akos@ktk.pte.hu

²PhD, adjunktus, Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar
kurath.gabriella@ktk.pte.hu

³PhD, adjunktus, Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar
sipos.norbert@ktk.pte.hu

⁴tanársegéd, Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar
szakot@ktk.pte.hu

⁵tanársegéd, Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar
balintb@ktk.pte.hu

⁶adjunktus, Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar
baloghg@ktk.pte.hu

⁷PhD-hallgató, Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar
uhrin.anett@ktk.pte.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A felsőoktatás tavaszi átállása kapcsán a digitális/nem jelenléti oktatási formák, valamint a távmunka jelenlegi helyzetét és jövőbeli elképzeléseit vizsgáltuk. Az volt a célunk, hogy kutatásunkkal segítsük a felsőoktatás szereplőit, hiszen a megváltozott körülmények, a digitális oktatás, a home office munkavégzés eddig nem látott nehézségeket, problémákat szülhetnek, amelyek kihívást jelentenek mind az oktatók, mind a munkaadók számára.

A fenti célok érdekében több ütemben bonyolítjuk le a kutatási programot, a tanulmányban a Pécsi Tudományegyetem oktatói körében lebonyolított online felmérést mutatjuk be, a kérdőívet 322 fő töltötte ki.

Az egyetem oktatói, kutatói pozitívan értékelték az otthoni munkavégzést. Ugyanakkor a digitális oktatás nem helyettesítheti a személyes találkozást, valamint mentálisan is nagyobb kihívást jelent, nőtt a munkaterhelés, hiszen a munkában és otthon is helyt kellett állni egy időben és egy helyszínen, akár szimultán jelleggel vagy feladatmenedzselő eszközökkel.

A felmérés alapján megállapítható, hogy az oktatók többsége elkötelezett a digitális oktatás fejlesztése iránt, ezért javaslatokat fogalmaztunk meg az oktatásfejlesztési területre, az oktatók által igénybe vehető speciális szolgáltatások kialakítására vonatkozóan, valamint a bevált digitális kommunikációs eszköztár további alkalmazására a szervezeti kommunikációban.

ABSTRACT

We examined the current situation and future ideas of digital/non-attendance forms of education and teleworking in connection with the spring transition of higher education. Our goal was to help higher education actors with our research as the changed circumstances, digital education, home office work can create unprecedented difficulties and problems which are a challenge for both educators and employers.

In order to achieve the above goals, we carry out the research program in several stages. In the study we present an online survey conducted among the lecturers of the University of Pécs, the questionnaire was filled in by 322 people.

The lecturers and researchers of the university evaluated working at home positively. At the same time, digital education is no substitute for face-to-face encounters and it is also a greater challenge mentally. The workload has increased as tasks had to be performed both at work and home at the same time and place, either simultaneously or with task management tools.

The survey shows that the majority of lecturers are committed to developing digital education. Therefore, we formulated proposals in the field of educational development, the establishment of special services available to educators, and the further application of the proven digital communication toolkit in organizational communication.

Kulcsszavak: felsőoktatás, home office, COVID-19

Keywords: higher education, home office, COVID-19

COVID-19 ÉS A FELSŐOKTATÁS: KUTATÁSI ELŐZMÉNYEK

A SARS-CoV-2, más néven új koronavírus által okozott COVID-19 elnevezésű megbetegedést kiváltó világjárvány alapjaiban rázta meg a globális gazdaságot és – annak részeként – az Európai Uniót is, súlyos társadalmi-gazdasági következményeket vonva maga után (EB, 2020). A kialakult helyzetben a szervezetek lépéskényszerbe kerültek, hiszen szinte azonnali választ kellett adniuk a változó környezeti kihívásokra. Így a COVID-19 egyik napról a másikra minden ember életét megváltoztatta. Egyének, települések, városok, gazdaságok, országok és kontinensek tapasztalták meg, milyen elzárva lenni a külvilágtól, és félni az ismeretlentől (Caligiuri et al., 2020). A koronavírus-járvány mindenkit érint az egész világon, hatással van az egyénre és a társadalom egészére is.

Magyarországot 2020 márciusában érte el a járvány, melynek következményeképp a *Magyar Közlönyben* 2020. március 11-én tették közzé a 41/2020 (III. 11.) Kormányrendeletet az elrendelt veszélyhelyzet során teendő intézkedésekről. A hazai munkaerőpiaci helyzetet vizsgálva a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) összefoglalója alapján a járványhelyzet javulásával párhuzamosan a jövőre vonatkozó várakozások is javultak, így az oktatásban dolgozók közül 2020. áprilisban 8,1%, 2020. májusban 6% (május átlaga: 5,7%, április átlaga 8,4%) azok aránya, akik valószínűnek tartják, hogy az elkövetkező három hónapban elveszítik munkájukat (KSH, 2020a).

A különös helyzetre való tekintettel a magyar felsőoktatási intézmények, így a Pécsi Tudományegyetem is (PTE, 2020), intézkedéseket hoztak a koronavírus terjedése elleni védekezésről, melynek részeként elrendelték az oktató/kutatókra nézve a digitális oktatásra való átállást, illetve az adminisztrációban tevékenykedők részére az otthoni munkavégzést (home office), vagyis lényegében a távmunkát.

TÁVMUNKA ÉS HOME OFFICE

A járvány előtt relatíve még ritkaságnak számított Magyarországon a távmunka (mely leggyakrabban otthoni munkavégzéssel valósul meg), a Gazdaságkutató Intézet (GKI) kutatása szerint az otthonról dolgozók aránya nem érte el az 5%-ot, ám 2020 júniusának elejére ez 20%-ra ugrott fel, ami nagyjából 800 ezer munkavállalót jelent (GKI, 2020). Ezt az adatot kiegészítendő, az Ipsos 2020. márciusi felmérése alapján a korlátozó intézkedések bevezetése után az emberek csaknem 27%-a végezte a munkáját a szokásostól eltérő helyen (Ferencz, 2020).

A távmunka során fontos megjegyezni a *social distancing* (társas vagy társadalmi távolságtartás) és a *physical distancing* (fizikai távolságtartás) fogalmak közti különbséget, utalva arra, hogy mennyire fontosak az emberi kapcsolatok a kialakult helyzetben is. A social distancing egyenes út a társas elszigeteltséghez. A fizikai távolságtartásnak azonban nem szabad társas elszigetelődéshez vezetnie (Albert et al., 2020), ezért több vállalat külön figyel arra, hogy a különféle előítéletek, elszigeteltség és a reménytelenség érzése ne terjedjen el az *online* dolgozók körében (Gibson, 2020).

A távmunkát rendszeressége alapján csoportosítva beszélhetünk alkalmi, kiegészítő távmunkáról, amikor a munkavállaló bizonyos távmunkavégzésre alkalmas feladatokat távmunkában láthat el, rendszeressége azonban nincs előre meghatározva, külön engedély szükséges hozzá (például kivételes vállalati eset) (Jarjabka, 2010). A távmunka annyiban különbözik az otthon (home office-ban) végzett munkahelyi tevékenységtől, hogy bár a munkavégzés szintén távolról, azonban nem feltétlenül otthonról történik, infokommunikációs eszközök közbeiktatásával (Hárs, 2013).

FELSŐOKTATÁS – DIGITÁLIS ÁTÁLLÁS

A digitalizáció, illetve a jelenleg zajló digitális átalakulás számos vállalatot, iparágat érintett, így a felsőoktatást is (Kronblad, 2020; Makarius–Larson, 2018). A digitalizáció megváltoztatja az alkalmazottak interakcióját a munkahelyen, a kommunikációt, az elvárásokat, a munkavégzés helyét, idejét. Ebben az értelemben a digitalizáció fejlődése számos szinten befolyásolja a szervezeteket, mivel új ismeretek és új munkamódszerek adaptálását és fejlesztését igényli (Bondarouk–Ruël, 2009). A digitalizáció során hangsúlyos szerepet kap a szükséges új készségek fejlesztésébe történő beruházás, különösen, ha a változás új technológiát és új szerepeket von maga után (Heracleous, 2003). Az emberierőforrás-vezetők alapvető küldetésének lényege azonban éppen az, hogy az átfogó szervezeti stratégiának megfelelően támogassák és fejlesszék az alkalmazottakat (Watson, 2009), így a HR (human resources, emberierőforrás-menedzsment)-támogatás a digitális átállás során alapvető fontosságú.

A COVID–19 által okozott világválság többdimenziós hatással volt a társadalomszervezés minden szférájára, és drámai kihívást jelentett a felsőoktatás szerepének megváltoztatására. Több nemzetközi és hazai kutatás foglalkozott a kialakult helyzettel, felsőoktatáshoz kötődő szerveződések, köztük hallgatói egyesületek és más, a felsőoktatásban részt vevő szervezetek is végeztek felméréseket, egy-egy régióra vagy a felmerülő konkrét kérdésre fókuszálva (Eurofound, 2020; URL1; RDA, 2020; Marinoni et al., 2020; Walker et al., 2020; Maszol, 2020; Telegdy et al., 2020; KSH, 2020b; TÁRKI, 2020).

A kezdeti válságmenedzselés után az intézkedéseknek ki kell terjednie az összes többi kapcsolódó területre, nem utolsósorban azokra, amelyek a felsőoktatási ágazatot érintik. Jelentősen megváltoztak ugyanis azok a feltételek, amelyek között a felsőoktatásnak hirtelen teljesítenie kellett (digitális oktatás). Még a COVID–19 előtt angol, német, osztrák és magyar kiválóan rangsorolt egyetemek minőségpolitikáit elemezve azt találták, hogy a nyilvános minőségpolitikával rendelkező egyetemeknek csak 40%-a említi a modern technológia használatát a minőségpolitikájában, tehát tekinti azt kiemelt hosszú távú célként (Benke et al., 2019).

A távolságtartási intézkedések hatása a felsőoktatásra is rányomta bélyegét. A munkavállalóknak soha nem látott kihívásokkal kellett szembenézniük (ideértve a munkahelyek bizonytalanságát is); az egyetemi vezetőknek pedig gyorsan kellett reagálniuk a változó körülményekre, és alternatív módszerek alkalmazásával azonnali választ kellett adniuk az oktatás, munkavégzés folytatására.

Az Internal Association Universities (IAU) felmérése szerint ugyanis a felsőoktatási intézmények 91%-a rendelkezik kialakított kommunikációs infrastruktúrával, ennek ellenére a válaszadók szerint kihívást jelentett az egyértelmű és hatékony kommunikációs folyamatok biztosítása az alkalmazottakkal és a hallgatókkal (Marinoni et al., 2020).

A KUTATÁSI PROGRAM

A Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Karának Vezetés- és Szervezéstudományi Intézete (PTE KTK VSZI) a COVID-vírus kapcsán kialakult üzleti szituáció következményeinek elemzésére létrehozott egy kutatócsoportot, amely a felsőoktatás tavaszi átállása kapcsán a digitális/nem jelenléti oktatási formák, valamint a távmunka jelenlegi helyzetét és jövőbeli elképzeléseit vizsgálja online kérdőíves felmérések keretében.

Az volt a célunk, hogy kutatásunkkal segítsük a felsőoktatás és a gazdaság szereplőit, hiszen ebben a helyzetben a munkavállalók motiválása, a jól összeszokott csapat összetartása kihívás elé állítja a szervezeteket, a megváltozott körülmények, a digitális oktatás, a *home office* munkavégzés eddig nem látott nehézséget, problémákat szülhetnek, amelyek kihívást jelentenek mind a munkavállalók, mind a munkaadók számára. Kulcsfontosságú lehet sok szervezet életében, túlélésében az, hogy a megváltozott működésében is hatékony és eredményes tudjon maradni egy csapat, és hogy a munkafolyamatok is gördülékenyen haladjanak.

Két fő célt határoztunk meg:

1. Felmérni a nem jelenléti oktatásban, távmunkában dolgozók, oktatók véleményét, elégedettségét a jelenlegi működéssel, valamint a jövőbeli tervekkel kapcsolatban.
2. Feltárni a szervezeti kommunikáció alakulását, a dolgozók, oktatók motivációit, a kompetenciákra vonatkozó javaslatait, fejlesztési elképzeléseit, *soft* és *hard* igényeit.

A teljes kutatási programot több ütemben bonyolítottuk és bonyolítjuk le. Elsőként a PTE oktatói és munkatársi online kérdőíves felmérés zajlott le, ezenkívül megkérdezzük a cégek munkavállalóit, a hazai és nemzetközi oktatókat, valamint a PTE hallgatót (hazai és külföldi) és a Diplomás Pályakövető Rendszer kutatás keretén belül plusz kérdések felhasználásával a végzettjeit is.

Jelen tanulmányban a terjedelmi korlátok és a lezárt kutatási területek okán a PTE oktatói felmérésének eredményeit taglaljuk, különös tekintettel a digitális oktatásra és a *home office* tevékenységekre fókuszálva.

MÓDSZERTAN

A kvantitatív megkérdezést online standard kérdőívvel bonyolítottuk le, a feldolgozás matematikai-statisztikai módszerek, SPSS-szoftver támogatásával valósult meg az online felméréseknél elvárható maximális adatbiztonság és anonimitás biztosítása mellett. A feldolgozás során eltekintettünk a súlyozástól, mert

a megfelelő arányok azonosíthatóak az egyes szempontok (például: nem, életkor, munkahelyen eltöltött idő, beosztás) mellett, illetve a Humánpolitikai Igazgatóság kimutatásaiban több helyen láttunk olyan anomáliát, ami munkáltatói szempontból megfelelő kategorizálásnak minősíthető, ugyanakkor az alapsokaság pontos meghatározása és az egyes szempontokhoz való hozzárendelés valószínűsíthetően torzította volna az eredményeket.

A kérdőívet az 1426 oktatóból 322 fő töltötte ki, ami 22,6%-os válaszadási arányt jelent. Nemek szerint vizsgálva a mintát az alapsokasághoz viszonyítva több női válaszadó volt, életkor szerint nagyjából kiegyenlített a válaszadók megoszlása, a 25 év alattiak és a 66 évnél idősebbek alapsokasága igen alacsony, így ott némi torzítás figyelhető meg a fiatalabb kitöltők javára. A kérdőívet kitöltő oktatók több mint 60%-a tíz évre vagy annál hosszabb periódusra vonatkozóan rendelkezik egyetemi jogviszonnal. A PTE tíz karát tekintve jelentős eltérések voltak a kitöltési arányban, ezért a felmérés eredményeit egyetemi szinten elemezzük.

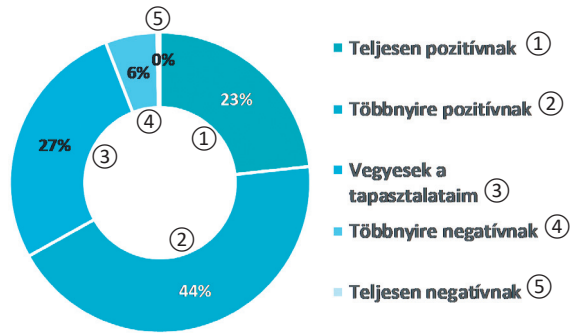
FŐBB TAPASZTALATOK A DIGITÁLIS OKTATÁS, HOME OFFICE KAPCSÁN

A kérdőívben digitális oktatás, home office, a szervezeti kommunikáció és szervezeti kultúra, valamint a jövőbeli tervek témáira kérdeztünk rá, ezek közül a tanulmányban a digitális oktatásra, a home office megítélésére és a jövőbeli tervekre fókuszálunk.

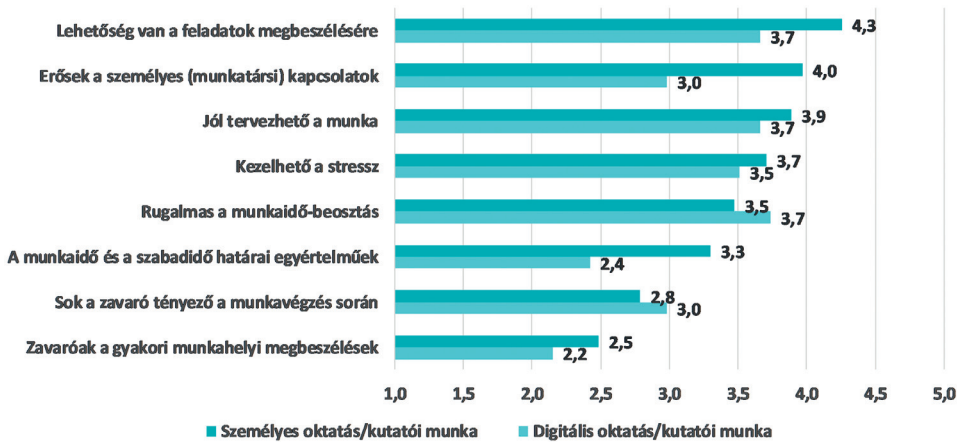
Digitális oktatás, home office vélemények

A válaszadók kétharmada teljesen vagy többnyire pozitívnak ítélte a home office munkavégzést, így összességében a kollégák pozitívan értékelték a változást, mely felülmúlta a munkáltatói elvárásokat és aggodalmat (1. ábra).

A munkakör betöltésének módjait összevetve, a „hagyományos” személyes oktatás és kutatás két kivétellel szinte minden esetben magasabb értéket kapott a válaszadóktól. A legnagyobb különbség a személyes oktatás/kutatás javára a munkatársi kapcsolatok és a munkaidő határainak egyértelműsége között volt azonosítható a személyes munkavégzés előnyére. Két tényezőt, a rugalmas munkaidő-beosztást és a munkavégzés során érzékelhető sok zavaró tényezőt találták jellemzőbbnek a válaszadók a digitális oktatás esetében, ami bizonyos fokú ambivalenciára utal a digitális otthoni munkavégzés megítélésében. Az eredmények alapján a személyes oktatói/kutatói munka során több lehetőség van a feladatok megbeszélésére, erősebbek a személyes kapcsolatok, jobban tervezhető a munka, jobban kezelhető a stressz, egyértelműbbek a munkaidő és a szabadidő határai, ám zavaróbbak a gyakori munkahelyi megbeszélések, mint a digitális oktatás esetén (2. ábra).



1. ábra. A home office/otthoni munkavégzés megítélése (Jarjabka et al., 2020; PTE, 2020)

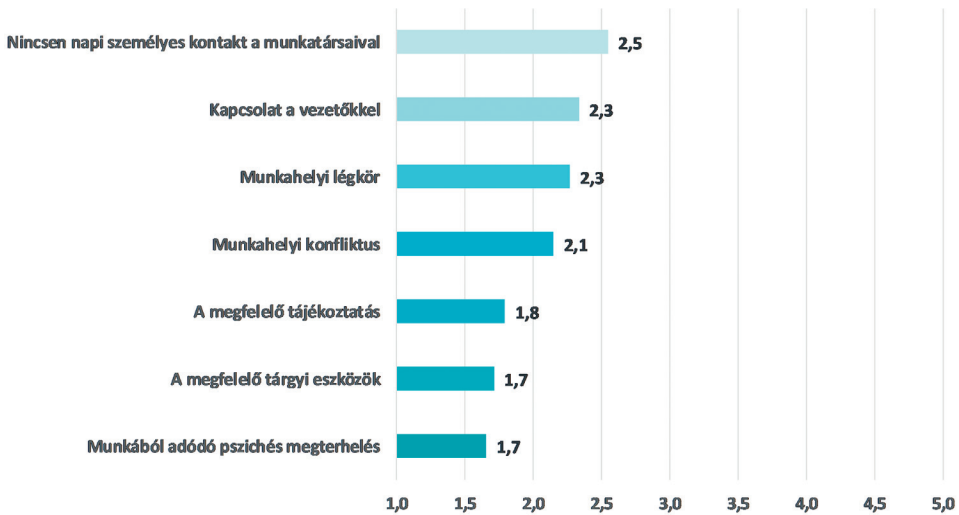


2. ábra. Az oktatói/kutatói munkakör megítélése a személyes és a digitális oktatás során (Jarjabka et al., 2020; PTE, 2020)

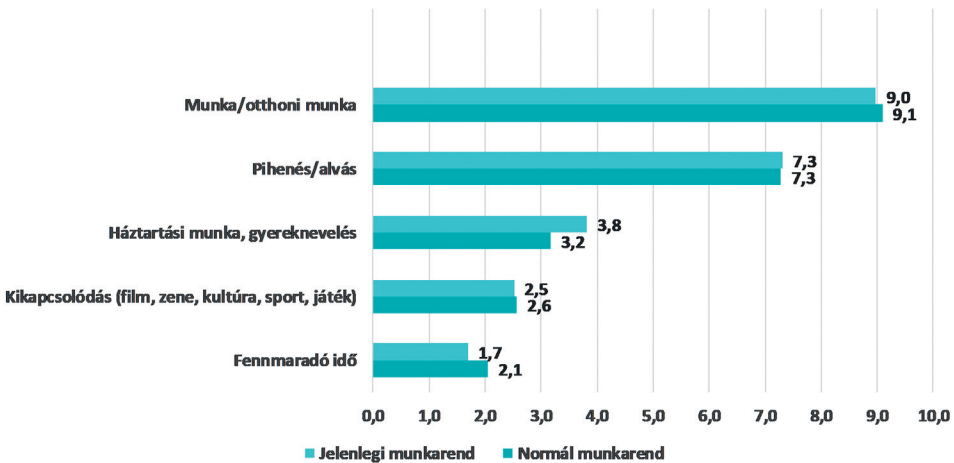
Az 1–5 skálán viszonylag alacsony értékeket kaptak a felsorolt problémák, vagyis az oktatók nem voltak kifejezetten elégedetlenek ezen tényezőkkel. A rangsor szerint a legfőbb problémát abban látták – azt is közepes szinten –, hogy nincs napi szintű személyes kapcsolat a kollégákkal, míg legkevésbé jelent meg gondként a munkából adódó pszichés megterhelés, illetve a megfelelő tárgyi eszközök hiánya és a megfelelő tájékoztatás (3. ábra).

Az otthoni digitális távmunka és a normál munkarend munkaideje között csekély különbség figyelhető meg a digitális javára, ám a munkaidő-beosztás már valószínűleg rejteget magában eltéréseket, figyelembe véve, hogy e speciális helyzetben otthon voltak a családi munkavállalók gyermekei is. Így a munkavégzés szaggatottabbá, a munkaidő fragmentálttá válhatott, s ezzel a munkavégzés idejének „érzete” változhatott. Ezt a hipotézist indirekt erősíti az

is, hogy a háztartással és gyermekneveléssel (például közös tanulás) töltött idő nőtt, de pontosabban további vizsgálatok alapján (például mélyinterjúkkal) lehet majd állítani. Érdekes, hogy miközben csak minimális átrendeződések figyelhetők meg a fenti kategóriákban, mindezek azonban a fennmaradó (reziduális) idő csökkenéséhez vezettek, vagyis egy-egy otthon töltött nap aktívabban telt el, mint korábban (4. ábra).



3. ábra. Problémák home office-ban a munkavégzés során
(Jarjabka et al., 2020; PTE, 2020)



4. ábra. A napi tevékenységek megoszlása
(Jarjabka et al., 2020; PTE, 2020)

A negatívumok megfogalmazására is a nyitott kérdés formulát alkalmaztuk a kérdőívben. Sokak számára a home office a személytelenséggel, elszigeteltséggel és bizonytalansággal volt egyenlő. A váratlan kényszerhelyzetből adódóan a munka és a magánélet összemosódása is elkerülhetetlen volt, és a home office árnyoldala is megjelent az oktatók túlterheltsége és a frusztráció formájában (6. ábra).

A MUNKAVÉGZÉS JÖVŐBENI ALAKULÁSA

Az oktatók közel kétharmada szerint a jövőben az oktatás kissé átalakul, s a hangsúly áttevődik a személyes formákról a digitális módszerek felé, sőt, a dolgozók egynegyede szerint nagyon sok új, ilyen jellegű program jelenik meg a közeljövőben az oktatásban. Véleményünk szerint az oktatók a „változás szelét érezve”, és kiemelt szerepüket e helyzetben felmérve, 45%-ban nyilatkoztak úgy, hogy részt vennének új távoktatási programok kidolgozásában vagy a közelmúltbeli tapasztalataikra alapozva oktatóként felkészítésben. Tehát sok új, most bevezetésre kerülő módszer átvehető és a továbbiakban a meglévő kompetenciákra építve alkalmazható, továbbá a befogadó és fejlődni vágyó humán környezeti helyzet megteremtődésével számos más újdonság is beépíthető lehet a mindennapi munkavégzésbe (URL2).

ÖSSZEZÉS

Az eredményeket összegezve, a PTE oktatói/kutatói pozitívan értékelték az otthoni munkavégzést. A fenti megállapításaink összhangban vannak a Henley Business School (Walker et al., 2020) felméréseivel, miszerint az egyetemi oktatók ugyanolyan elkötelezettséget mutattak munkájuk iránt, és ugyanolyan elánnal dolgoztak, mint a járvány előtt. Ugyanakkor a digitális oktatás nem helyettesítheti a személyes találkozást, valamint mentálisan is nagyobb kihívást jelent, nőtt a munkaterhelés, hiszen a munkában és otthon is helyt kellett állni egy időben és helyszínen, akár szimultán jelleggel vagy *task management* eszközökkel.

Fontos aláhúzni, hogy kutatásunkban az oktatói munkakör különböző szempontú megítélésekor a személyes oktatás és kutatás szinte minden esetben magasabb értéket kapott a válaszadóktól, mint a digitális forma, s a legnagyobb pozitívuma a személyes munkavégzésnek a munkatársi kapcsolatok és a munkaidő határainak egyértelműsége között volt azonosítható.

FŐBB JAVASLATOK

A felmérés alapján megállapítható, hogy az oktatók többsége elkötelezett a digitális oktatás fejlesztése iránt, ezért indokolt lehet oktatásfejlesztési pályázatok, illetve egyéb oktatásfejlesztést támogató eszközök (díjak, ösztöndíjak alapítása) kidolgozása központi, intézményi, illetve kari szinten is. Így lehetővé válik a képzések adott területeinek digitális formában való megvalósítása, csökkentve ezáltal a hallgatók utazásra fordított idejét, költségét.

Ugyanakkor azoknál az egységeknél, ahol jelentősebb volt a terhelés, megemelkedett óraszámában dolgoztak a digitális oktatás során, a stressz csökkentésére speciális szolgáltatások intézményi bevezetése (coaching, tréning, tanácsadás) javasolható az oktatók számára.

Digitális kommunikációs eszköztár alkalmazása, újragondolása az intézmények szervezeti kommunikációjában a későbbiekben is indokolt lehet, például értekezletek, tárgyalások online formában való lebonyolítása.

A KUTATÁS KORLÁTAI ÉS JÖVŐBELI KUTATÁSI IRÁNYOK

A felmérés a PTE-re, vagyis egy intézményre koncentrált, azonban a mintaelemszám nagysága alapján a kutatási eredmények iránymutatók lehetnek a hazai felsőoktatási intézmények számára is.

A kutatás reprezentativitásának növelésére, valamint az eredmények generálisá tételére és összehasonlíthatósága érdekében további felméréseket indítottunk a hazai és nemzetközi partnerintézmények körében. Továbbá, a kvantitatív megkérdezések lebonyolítását követően az oktatók körében mélyinterjúk lefolytatását tervezzük a mélyebb, szakmai tartalmak feltárására például a munkaidő átstrukturálódása területén.

IRODALOM

- Albert F. – Dávid B. – Huszti É. (2020): Magyar kutatók figyelmeztetnek: vigyázzunk, nehogy a távolságtartás elszigetelődéshez vezessen! *Qubit*, <https://bit.ly/2SG1MIk>
- Benke M. – Lányi B. – Schmuck R. (2019): Minőségszemlélet a felsőoktatásban. *Taylor Gazdálkodás- és Szervezéstudományi Folyóirat*, 2, (No. 36), 14–23. https://www.academia.edu/43677337/Min%C5%91s%C3%A9gszeml%C3%A9let_a_fels%C5%91oktat%C3%A1sban
- Bondarouk, T. – Ruël, H. (2009): Electronic Human Resource Management: Challenges in the Digital Era. *The International Journal of Human Resource Management*, 20, 3, 505–514. DOI: 10.1080/09585190802707235, https://www.researchgate.net/publication/247522493_Electronic_Human_Resource_Management_Challenges_in_the_Digital_Era
- Caligiuri, P. – De Cieri, H. – Minbaeva, D. et al. (2020): International HRM Insights for Navigating the COVID-19 Pandemic: Implications for Future Research and Practice. *Journal of*

- International Business Studies*, 51, 697–713. DOI: 10.1057/s41267-020-00335-9, <https://link.springer.com/article/10.1057/s41267-020-00335-9>
- EB – Európai Bizottság (2020): *2020. tavaszi gazdasági előrejelzés*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/hu/ip_20_799
- Eurofound (2020): *Living, Working and COVID-19. First Findings – April 2020*. https://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef_publication/field_ef_document/ef20058en.pdf
- Ferencz Z. (2020): *Miért okoz nehézséget a korlátozó intézkedések betartása?* https://szociologia.tk.mta.hu/uploads/files/FerenczZ_kockazatok-jarvany-FF.pdf
- Gibson, C. (2020): From ‘Social Distancing’ to ‘Care in Connecting’: An Emerging Organizational Research Agenda for Turbulent Times. GUIDEPOST. *Academy of Management Discoveries*, DOI: 10.5465/amd.2020.0062, <https://journals.aom.org/doi/10.5465/amd.2020.0062>
- GKI (2020): *A foglalkoztatottak munkahelyi helyzete 2020 júniusában – GKI Gazdaságkutató Zrt. jelentése*. https://www.gki.hu/wp-content/uploads/2020/06/Foglalkoztatotts%C3%A1g_20200623.pdf
- Hárs Á. (2013). *Az atipikus foglalkoztatási formák jellemzői és trendjei a kilencvenes és a kétezres években. (Pályasúgó-Füzetek)* Budapest: MTA KRTK KTI. <http://elorejelzes.mtakti.hu/publikaciok/Palyasugo-Fuzetek/45/> (Letöltve: 2020..07..03.)
- Heracleous, L. (2003): *Strategy and Organization: Realizing Strategic Management*. Cambridge: Cambridge University Press
- Jarjabka Á. (2010). A munkaidő és munkarend tradicionális és új, rugalmas megoldásai. In: Karoliny Zs. – Poór J. (szerk.): *Emberi erőforrás menedzsment kézikönyv: Rendszerek és alkalmazások*. Budapest: Complex Kiadó, 221–226.
- Jarjabka Á. – Kuráth G. – Sipos N. et al. (2020): *Digitális oktatás, távmunka helyzetfelmérés és jövőbeli elképzelések, PTE munkatársi, oktatói felmérés*. Kutatási tanulmány. Pécs: PTE
- Kronblad, Ch. (2020): How Digitalization Changes Our Understanding of Professional Service Firms. *Academy of Management Discoveries*. Published Online: 27 Apr 2020. DOI: 10.5465/amd.2019.0027
- KSH (2020a): <https://www.ksh.hu/heti-monitor/index.html>
- KSH (2020b): *Koronavírus dosszié*. https://www.ksh.hu/koronavirus-dosszie?utm_source=ksh-hu&utm_medium=banner&utm_campaign=home
- Makarius, E. – Larson, B. (2018): Changing the Perspective of Virtual Work: Building Virtual Intelligence at the Individual Level. *Academy of Management Perspectives*. <https://journals.aom.org/doi/epdf/10.5465/amp.2014.0120.A>
- Marinoni, G. – van't Land, H. – Trine, J. (2020): *The Impact of COVID-19 on Higher Education around the World. IAU Global Survey Report*. https://www.iau-aiu.net/IMG/pdf/iau_covid19_and_the_survey_report_final_may_2020.pdf
- Maszol (2020): *Leginkább anyagilag és lelkileg viseli meg az erdélyi magyarokat a koronavírus-járvány*. <https://bit.ly/3nx8IG3>
- PTE (2020): *A Pécsi Tudományegyetem Intézkedési Terve a koronavírus terjedése elleni védekezésről*. https://univpecs.com/sites/default/files/files/pte_koronavirus_intezkedesi_terv_200312.pdf
- RDA (2020): *The Global Research Data Alliance Community Response to the Global COVID-19 Pandemic*. <https://www.rd-alliance.org/global-research-data-alliance-community-response-global-covid-19-pandemic>
- TÁRKI (2020): *Járvánnyal kapcsolatos társadalomtudományi kutatások Magyarországon*. <https://adatbank.tarki.hu/en/covid-19-research-in-hungary/>
- Telegdy B. – Sántha Á. – Nistor L. et al. (2020): *Erdélyi mindennapok egy világjárvány idején – Egy szociológiai kutatás tanulságai*. Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, <http://>

- www.sapientia.ro/hu/hirek/erdelyi-mindennapok-egy-vilagjarvany-idejen-egy-szociologiai-kutatas-tanulsagai
- Walker, J. – Brewster, Ch. – Fontinha, R. (2020): *Consultation on the Impact of Covid-19 on the Working Lives of Business, Management and Economics' Academics in UK – 2020*. <https://bit.ly/34yZKza>
- Watson, T. (2009): Organizations, Strategies and Human Resourcing. In: Leopold, J. W. – Harris, L.: *The Strategic Managing of Human Resources*. 2nd ed. Harlow: Prentice Hall/Financial Times
- URL1: *International Survey on Coronavirus*. <https://covid19-survey.org>
- URL2: Nonprofit.hu: *A krízishelyzet előnyei: digitális megoldások, amelyeket érdemes megőrizni*. <https://www.nonprofit.hu/tudastar/A-krizishelyzet-elonyei-digitalis-megoldasok-amelyeket-erdemes-megorizni> (Letöltés: 2020. 07. 02.)

Könyvszemle

SIPOS JÚLIA GNDÓZÁSÁBAN

RANGSORBA ÁLLÍTVA

Érdi Péter az Eötvös Loránd Tudományegyetemen végzett magyar–amerikai fizikai kémikus, a Kalamazoo College (Kalamazoo, Michigan) komplex tudományok Henry R. Luce Professzora. Tudományterülete a kémiai kinetika, a számítógépes idegtudomány és a komplex rendszerek. Széles körű érdeklődését jól jellemzi legújabb könyve, amely a rangsorkészítés miértjeit és hogyanjait boncolgatja, miközben panoramikusan mutat be egész sor tudományos és társadalmi kérdésről. A könyv 119. oldalán megfogalmazott fő céljának a szubjektív és az objektív közötti lavírozás rejtett szabályainak feltárását tekinti. Teszi ezt informatív és olvasmányos, mondhatni, szórakoztató módon, továbbá takarékosan: a 246 oldalas, kis méretű, viszonylag rövid könyv hatalmas területet ölel fel. A könyv a legjobb értelemben vett sajátos *potpourri*. Egymástól távoli területek között teremt kapcsolatot és összefüggést a rangsorolás, a listakészítés, az értékmérés és természetesen ezek illúziója. Számomra a könyv legfőbb jellemzője, hogy állandóan párbeszédre készíti az olvasót, és ezzel elejétől végig ébren tartja az érdeklődést. A könyv messze nemcsak tudománnyal foglalkozóknak szól, de recenzióban elsősorban ezek a vonatkozásai kapnak hangsúlyt.

A könyvben feltűnik sok magyar vonatkozás. Ez nem meglepő, és szimpatikus. A szerző pályájának nagy részét Budapesten töltötte, és amerikai professzorsága alatt is alkotó kapcsolatban maradt a magyar tudományos élettel. Megjelenik Arany János, Arany László, Barabási Albert-László, Bartók Béla, Bródy András, Czibor Zoltán, Erdős Pál, Imre Géza, Jánossy Ferenc, Kökény Beatrix, Lukács György, Puskás Ferenc, Rényi Alfréd, Szentágothai János (Érdi egyik mentora) és mások. Szerepel a németekkel szemben az 1954-es labdarúgó világbajnoki döntőben elszenvedett 2:3-as vereség (ami az én generációmnak mind a mai napig traumatikus emlék) és az előtte 8:3-ra megnyert mérkőzés, a 2018-as országgyűlési választásokhoz vezető kampány, a magyarországi öngyilkosságok számának alakulása, Magyarország szomorú helyezése a Freedom House értékelésében az országok demokrácia jellemzésében és mások.

Érdi nagyszerű példát talál az objektív rangsorba állításra az Erdős-számban, amit pontos meghatározás szerint állapítanak meg. 512 matematikus Erdős száma 1. Ők Erdős Pállal társ szerzők voltak. Erdős-szám 2-t körülbelül tízezer matemati-

kus mondhat magáénak, akik Erdős valamelyik társszerzőjével publikáltak közösen, de Erdőssel nem. A sor így folytatódik. A matematikusok körében nagy érték az alacsony Erdős-szám. Hozzáteszem, hogy Lax Péter, korunk egyik kiemelkedő matematikusa büszke arra, hogy Erdős száma az egyedülálló $\frac{1}{2}$. Ugyan nem publikált Erdőssel, de Erdős egyik cikkében lábjegyzetben hivatkozott Laxra.

Érdi foglalkozik a fizikai attribútumok jelentőségével a társadalmi szituációkban. Megjegyzi például, hogy a magas testalkat előnyös, ha valaki ezredes vagy elnök szeretne lenni. Mielőtt legyintenénk, vagy politikai inkorrektiséget emlegetnénk, hozzáteszem, hogy Szilárd Leóknak is ez volt a véleménye. Szilárdnak kitűnő érzéke volt a tárgyalási helyzetek maximális kihasználásához, és fontos tárgyalásaira gyakran megával vitte valamelyik magas kollégáját vagy barátját, ma úgy mondanánk, biodíszletnek.

A rangsorolással és sorrendkészítéssel esetenként megjelenő értelmetlen hiúság szomorú példaként említi a szerző egy Donald Trumppal kapcsolatos valószínűtlenül hangzó, de dokumentált esetet. A 2001. szeptember 11-i terrortámadás ledöntötte a Világkereskedelmi Központot New Yorkban. Ezt követően Trump azzal kérkedett, hogy immár a Trump-torony lett a város legmagasabb épülete, ami ráadásul nem is volt igaz. Érdi arra is nagyszerű példát hoz, amikor nem szabad, de legalábbis nem kellene hogy legyen rangsorbeli megkülönböztetés. Ez a demokráciákban megvalósuló fékek és ellensúlyok rendszere. Ennek megfelelően a három hatalmi ágazat, a törvényhozás, a végrehajtó hatalom és a bíraskodás egymással egyenjogú és egyik sem kerekedhet a másik fölé. Az autoriter rendszerek jellemzője, hogy megbomlik a fékek és ellensúlyok rendszere, ami rendszerint azzal is együtt jár, hogy valaki mindent tudónak, minden eldöntésére képesnek tartja magát, és ezt elfogadtatja a társadalommal, illetve ezt rákényszeríti a társadalomra. A könyv idézi Bertrand Russelt, aki szerint buták azok, akik mindenben biztosak, míg azokat, akiknek kételyeik vannak, fantázia és a dolgok megértése jellemzi. Idézi továbbá Konfuciuszt, aki szerint az igazi tudáshoz szükség van tudatlanságunk mértékének felismerésére. Álljon itt továbbá egy példa a könyvből annak illusztrálására, hogy mennyire értelmetlen, sőt káros lehet rekordok hajhászása. A szovjet ötéves tervekben gyakran fejezték ki tonnákban a teljesítményt. Így hoztak létre olyan csillárokat, amelyek lerántották a mennyezetet és olyan háztetőket, amelyek alatt összedől az épület.

A könyv 6. és 7. fejezete a tudományos kutatók számára központi kérdésekkel foglalkozik. A 6. fejezetben tárgyalja az egyetemek rangsorolásának hasznát és buktatóit. Ezek jórészt ismertek, de a könyv témája szempontjából a bemutatás fontos szempontokat hangsúlyoz. Így például azt, hogy a továbbtanulásra készülő fiatal számára csak általános útmutatást jelenthet a sokszor nem is egyértelmű szempontok alapján összeállított rangsor. Legalább annyira fontos az egyéni érdeklődést és komfortérzetet figyelembe venni. Mint ahogy minden ilyen esetben,

valóban csak általános tájékozódásra alkalmasak ezek a rangsorok, és nem szabad őket túl komolyan venni. Nagy hagyományokkal és megállapodott társadalmi viszonyokkal bíró országokban kellő tartózkodással kezelik ezeket a rangsorokat. A tartózkodás azért is indokolt, mert sokféle rangsor van, amelyekben kis különbségek nagy rangsorbeli eltérésként jelenhetnek meg. Csínján kell bánni az olyan változtatásokkal, amelyek a rangsorolás szempontjait, de nem az egyetem hosszú távú érdekeit veszik figyelembe. A rövid távú hatásokra vonatkozó döntések bizonytalanságot okoznak, és mire következményük jelentkezett, esetleg a szempontok már megváltoztak, és az egész törekvés a szó igazi értelmében vett sziszifuszi munka lesz.

A folyóiratok rangsorba állítása és impaktfaktora, és ezzel összefüggésben az egyes kutatók teljesítményének ellentmondásos kvantifikálása különösen sok vitát eredményez. Ezzel a 7. fejezet foglalkozik. Itt megint elmondható, hogy fontos számokkal is kifejezni egy folyóirat és egy kutató minőségét és teljesítményét, de ezeket a számokat nem szabad észszerűtlenül mindenhatónak tekinteni. Hozzáteszem, hogy sok-sok évvel ezelőtt a hazai akadémikusválasztásoknál az ilyenfajta teljesítmény alig volt szempont. Aztán szempont lett, de az adatokat igyekeztek diszkréten kezelni. Mostanában már minden adat nyilvános, és két problémával is meg kell küzdenünk ezzel kapcsolatban. Az egyik ezeknek az adatoknak vakon történő alkalmazása. A másik a tüzetes vizsgálódás ellenére történő teljes semmibevétele. Az idézettségi adatok jelentésének árnyalására folyamatosan jelennek meg finomítások vagy újabb és újabb módszerekkel kiszámított mutatók, esetleg tudományterületekre specifikusan alkalmazott mutatók. Vannak ragyogó példák arra, hogy mennyire nem lehet vakon alkalmazni az idézettségi adatokat. A könyvben szereplő példák kiegészítésére két továbbit teszek hozzá. Az egyik Oliver H. Lowry (1910–1996) teljesítménye, akinek egy 1951-ben a fehérvérjék meghatározására kidolgozott módszert közlő cikkére 2015-ös adatok szerint már 310 ezer hivatkozás született. Lowry hivatkozási adatait a különböző kimutatásokból ki szokták venni, mert minden felmérést értelmetlenné tenne. Egyébként Lowry más nagy idézettségű cikkeket is publikált, h-indexe 91. A másik példa Dmitrij Mengyelejev cikke az elemek periódusos rendszeréről (több cikke volt erről, amelyek közül a legfontosabbnak az 1869-ben a *Zeitschrift für Chemie*-ben megjelent cikkét tekintik), amelynek anyaga beépült a kémia tudományába, mindenütt ott van akár kimondva, akár nem, de amelyre hivatkozás alig történik.

A tudósok rangsorolása népszerű foglalatosság. Itt is saját példákkal szeretném erősíteni a könyv mondanivalóját. Az ismert, tudományt népszerűsítő szerző, Isaac Asimov, az 1970-es évek közepére kialakított egy hetvenkét tudósból összeállított listát, és ebből választotta ki minden idők tíz legnagyobb tudósát. Arra már ő sem vállalkozott, hogy közöttük is rangsort állítson fel. Asimov tíz neve ábécérendben: Arkhimédész, Charles Darwin, Albert Einstein, Michael Faraday, Galileo Galilei, Antoine Lavoisier, James Clark Maxwell, Isaac Newton, Louis

Pasteur és Ernest Rutherford. Kármán Tódor szerint a tudósok nagyságát jelentős eredeti ötleteik számával lehet mérni. Első helyre Newtont tette öt vagy hat ötlettel, utána következett Einstein négy vagy öt ötlettel. A többi nagy tudóshoz egy vagy két nagy ötletet rendelt, míg saját magához hármat vagy három és felet. Wigner Jenő is Newtont és Einsteint helyezte mindenki fölé. Utánuk következtek Wigner kortársai, Max von Laue, Walther Nernst, Polányi Mihály és Wolfgang Pauli. Wigner saját magát ebben a sorban vagy kicsit alatta képzelte el. Lev Landauról ismert, hogy mindenben rangsort alkotott. Az elméleti fizikusok között meredeken csökkenő skálát vezetett be. Az élre Einsteint helyezte, és Newtont Einsteinnel azonos kategóriába sorolta. A következő fokozat ötszörös csökkenést jelentett, és ide sorolt tizenhárom fizikust, de közülük csak nyolc nevét tudjuk biztosan. Ezek: Niels Bohr, Enrico Fermi, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Erwin Schrödinger, Paul Dirac, Max Planck és Louis de Broglie. Landau saját magát a következő kategóriába helyezte, amely megint ötször alacsonyabb szint lett volna. Később azonban Bohrék kategóriájához közelebb helyezte el magát.

A könyv foglalkozik a siker és a siker előrejelzésének kérdésével. Winston Churchillt idézi, aki szerint (hevenyészett fordításomban) a siker sohasem végleges, a kudarc sohasem végzetes, és csak a folytatás bátorsága számít. Valóban, egy tudományos kutató valószínűleg nem elég fantáziadús vagy bátor, ha csak olyan kísérleteket tervez, amelyek mind sikeresek, csak olyan modelleket alkot, amelyek mind működnek, és csak olyan kutatásokat végez, amelyek biztos eredményt hoznak, netán mindig a várt (!) eredményt.

Érdi Péter könyvét megírni nem volt kockázat nélküli vállalkozás. Megérdemli a sikert, nagy területet ölel fel, széles körű az irodalmi merítése, ugyanakkor nem bújjik el mások véleménye mögött. Gondolatébresztő, az olvasót alkotótársnak tekintí, és olvasmányos. Nem minden könyvről lehet mindezt elmondani.

(Péter Érdi: Ranking. The Unwritten Rules of the Social Game We All Pay. New York: Oxford University Press, 2020, 246 o.)

Hargittai István

kémikus, tudománytörténész
az MTA rendes tagja

MUZSIKÁLÓ GYERMEKRÁDIÓ

Nem kis feladatra vállalkozott Morva Péter zongora- és orgonaművész, zenepedagógus *Muzsikáló gyermekrádió* című munkája megírásakor. A könyv alapját képező, lenyűgözően nagy volumenű kutatás eredményeit egyetlen kötetben összefoglalni szinte lehetetlen – ez egyrészt sejthető, a könyvet forgatva pedig egészen nyilvánvalóvá válik. Ráadásul becsülendő alaposága nem engedi, hogy elvarratlan vagy semmiből érkező szálak maradjanak a történetében, ezért a képet szélesítve nem csak „muzsikáló”, nem csak „gyermek” és nem csak „rádió”, amiről ír. E három fogalom halmazainak – önmagában sem szűk – metszetére fókuszálva mindhárom halmaz egészét érinti, bőven szólva bármelyik kettőnek a találkozási pontjairól is. Végeredményben pedig sikerrel zárul a kísérlet, nem érezhető rajta hiány vagy a terjedelmi korlátok szorítása miatti rossz kompromisszum.

A kötet három jól elkülönített, de teljes mértékben egymásra épülő egységre tagolódik. A gyermekrádiózás – és ezen belül elsősorban a zenei jellegű műsorok – nagyjából fél évszázados történetének megismerése után három megfontoltan kiválasztott emblemikus rádiós személyiség (Bónis Ferenc, Varga Károly és Dimény Judit) tevékenységének a már megismert történeti kontextusba helyezett neveléseméleti elemzése következik. Az utolsó – legrövidebb – egység pedig a második részben bemutatott szakemberek munkájából készített „keresztmetszet” innovatív műsortipológiai elemzése és az erre kidolgozott módszer egy kortárs külföldi példán való bemutatása.

Az első szakasz a legjelentősebb és egyértelműen a legértékesebb része az egésznek, melynek kapcsán nem állhatom meg, hogy ne említsem a hajdan népszerű *Columbo* című sorozattal kapcsolatos asszociációm. Nem állítom, hogy mindenkinek olyan izgalmas elolvasni – bár nekem az volt –, de nyomozni és megírni egész biztosan az lehetett. A rendhagyó felépítés is hasonló: már az első pillanatban tudjuk, mi lesz a vége, és sajnáljuk is az elhunyt magyar gyermekrádiózást, de mégis a felügyelővel (értsd: kutatóval) izguljuk végig, hogyan jönnek rá ő és a szereplők arra, amire tudjuk, hogy rájöttek. És persze várjuk, mi minden fog még kiderülni – nem is hiába, mert mindig van újabb meglepetés. Megjegyzem: sajnálatos, hogy ezek gyakran „nahát, már akkor is” kezdetűek, mintha nem változott volna semmi az azóta eltelt évtizedekben. Lehangelően vagy vérlázítóan (kinek-kinek habitusa szerint), de mindenképpen meglepően sokszor érezhetjük úgy, mintha a (gyermek)rádiózás és a kultúrpolitika harminc–negyven–ötven évvel ezelőtti felismerései, megállapításai most is a reveláció erejével hatnának – ezek szerint csak kimondani sikerült, tettekre váltani már nem. A krónikás fel-

táró tevékenysége pedig nyomozás is a szó legszorosabb értelmében: szinte látjuk magunk előtt, ahogy a szerző a Rádió Bródy Sándor utcai épületének útvesztőiben poros akták között kutakodva bolyong, és újabb jelekre, bizonyítékokra, kincsekre bukkan. A krimittől elvárt borzongás élménye sem marad el, ha hozzátesszük, hogy az archívum szóban forgó anyagai röviddel a kutatás befejezése után megsemmisültek, ezzel fájdalmas, a megírásakor még nem sejthető új jelentőséget adva az elkészült műnek.

A történet bemutatása bravúrosan sikerült. Morva Péter olyan magától értetődő eleganciával mutat rá az összefüggésekre, von le messzemenő következtetéseket, összegez és magyaráz, amely a részletek teljes ismeretén túl bölcs lényeglátást és az összkép mély megértését is feltételezi. Sokszor találóak saját megfogalmazásai is, de még gyakrabban olvashatunk tőle igazán adekvát idézeteket a mások által már leírtakból. Ahhoz a – szerző által természetesen birtokolt – zenei alázathoz hasonló ez az attitűd, mely elengedhetetlen feltétele a klasszikus művek magas szintű előadásának, és amelynek egyik legkényesebb kérdése a bemutatandó műalkotás és az interpretátor saját egyénisége közti egyensúly megtalálása az előadásban. Az érintett témák és események számtalanszor vezetnének el más, inspiráló és továbbgondolásra érdemes szálakon, de az elkalandozó gondolatokat a jól elhelyezett, tömören megírt összefoglaló fejezetek terelik újból egybe, és segítik az időbeli továbblépést.

A második részt még akkor is átlengi valami kis nosztalgia, ha nem ismerjük igazán a három főszereplőt. Itt válik igazán emberközeli, személyessé a hangvétel, a szerző egyébként deklarált érintettsége érezhető is – jó értelemben. Nem válik azonban szirupossá vagy elfogulttá a bemutatás, és szinte észrevétlenül jutunk el az egyik fontos feltevés bizonyításáig. Nem egyértelmű ugyanis, hogy egyáltalán minősíthető-e nevelésnek a rádiós ismeretterjesztés, és ha igen, milyen feltételek teljesülése esetén. E szakasz legnagyobb értéke ennek bizonyítása, valamint annak bemutatása, hogy a neveléstudomány módszerei és eszközei hogyan alkalmazhatók a személyes, „osztálytermi” tevékenységen kívül a rádió – és így tulajdonképpen más egyéb technikai eszközök – közvetítésén keresztül kifejtett nevelő hatások elemzésére. Egyes alfejezeteknél halványan érezhető a korábbi természetes könnyedség és indokoltság megtörése, a kötelező jelleg, erre pedig a tételes bizonyítás követelményeinek való megfelelés a magyarázat. Az olvasmányosság ugyan nem mindenütt azonos a kultúrtörténeti leírásával, kifejezetten érdeklődést keltő viszont a műsorok módszertanának bemutatása. Rengeteg megértés, átlátás, elgondolkodás és konklúzió következhet belőle, és szinte tankönyvi színvonalú az alapossága, magyarázatainak érthetősége.

A könyv utolsó, legrövidebb egysége más olvasóközönségre fókuszál, mint az azt megelőzőek. Érzésem szerint elsősorban műsorkészítők és nevelésméleti szakemberek számára lehet hasznos, de mindenképpen neveléstudományi jelentőségű az az újszerű tipológiai rendszer és ábrázolásmód, amelyet elsősorban a

második részben ismertetett rádiós alkotók életművének elemzésén mutat be a szerző. Ez a rész nem konzekvens az olvasó feltételezett vagy elvárt neveléstudományi tájékozottságát illetően: egyes fogalmak részletes magyarázatot kapnak egy-egy lábjegyzetben, máshol viszont kifejezetten megnő az egy mondatra jutó korábban nem említett szakszavak száma. A fejezet legnagyobb értéke nem a modell kidolgozottsága vagy az elemzés teljessége; ezek a pontok a felmerülő, egyelőre megválaszolatlan kérdések miatt inkább inspirálóak, továbbgondolásra, tökéletesítésre sarkallóak. Folytatás viszont csak akkor lehetséges, ha a modell alkalmazható a jelenkor gyakorlatára is, amit a könyv zárót megelőző, üdítően pozitív és ismét könnyen érthető, olvasmányos hangvételű szakaszában mutat be a szerző.

A Bajor Rádió egyik műsorának elemzésével nemcsak a tipológia használhatóságát bizonyítja kortárs, külföldi példán, hanem azt is világossá teszi, hogy egyáltalán létezik kortárs és külföldi példa! A továbbgondolás, elemzés, összehasonlítás tehát lehetséges.

Az utolsó kérdést a *Zárszóban* a szerző maga teszi fel: „Mert az egyik legnagyobb kétséget támasztó kérdés pont az volt, kell-e ez még ma, szükség van-e erre a formára az előretörő digitalizációs korban?” A könyv értő olvasása – ami a laikusok számára is lehetséges – egyértelművé teszi, mennyire nagy szükség van a jelenlegi digitális kapcsolódási lehetőségek özönében a tervezett, strukturált, minden értelemben nevelésnek minősíthető tevékenységre és az ehhez segítő, Morva Péteréhez hasonló kutatásokra.

(Dr. Morva Péter: Muzsikáló Gyermekrádió. Elfeledett történet. A Magyar Rádió Ifjúsági- és Gyermekosztályának története és komolyzenei nevelőmunkájának pedagógiai elemzése. Budapest: Magyar Pedagógiai Társaság, 2018, 413 o.)

Gyombolai Bálint

ének-zene tanár, karvezető,
a Liszt Ferenc Zeneművészeti Egyetem Kecskeméti Kodály Intézetének tanára

Kitekintés

GIMES JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

MAGYAR GYÓGYSZERJELÖLT A STROKE UTÁNI IZOMGÖRCSÖK ELLEN

Hamarosan megkezdődnek a klinikai vizsgálatai annak az új magyar gyógyszerjelöltnek, amelyet az agyi és más idegrendszeri sérülések miatt bekövetkező súlyos izomgörcsök lazítására fejlesztenek Málnási-Csizmadia András, az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) professzora vezetésével. A kutatás kiemelkedő eredményeit a *Cell* közölte 2020. október közepén.

Az izomgörcsök oka, hogy a gerincvelő és az agy az összehúzásra utasít bizonyos izmokat, de az elernyedésre vonatkozó parancs elmarad. A sztrokét túlélők több mint harminc százalékánál alakul ki olyan súlyos tartós izomgörcs (spaszticitás), ami megnehezíti, vagy lehetetlenné teszi az önálló életvitelt. A tünet több betegségnek is következménye lehet, ami Magyarországon kb. százezer, a világon több mint hatvanmillió embert érint.

A Motor Farmakológia Kutatócsoport MPH-220 kódjelű gyógyszerjelöltjének preklinikai vizsgálatai hamarosan befejeződnek. Az állatkísérletekben a molekula igen sikeresen vizsgázott, hiszen a kezelést követően megszüntette a mesterséges előidézett izomgörcsöket. Az anyag hatásának értékeléséhez egy mesterséges intelligencián, mélytanulási algoritmusokon alapuló tesztrendszert dolgoztak ki, amelynek segítségével az állatok filmen rögzített mozgását a milliméternél is nagyobb pontossággal tudták elemezni.

A jelenleg forgalomban lévő izomrelaxánsok az idegrendszeren fejtik ki a hatásukat, ezért számos neurológiai, pszichiátriai és kardiológiai mellékhatással rendelkeznek.

Az MPH-220-nak az eddigi eredmények alapján ilyen mellékhatásai nincsenek. A magyarázat a hatásmechanizmusban keresendő. Az ELTE biokémikusai által kifejlesztett molekula ugyanis nem az idegrendszeren keresztül fejt ki a hatását, hanem közvetlenül a vázizmok összehúzásáért felelős fehérje, a miozin működését befolyásolja.

Az MPH-220 azonban a szívizom miozin és a vázizom miozin szerkezeti különbségét kihasználva szelektíven csak a vázizmon fejt ki hatását, a szívizom miozinjának működését nem befolyásolja. Ugyanakkor, mivel a vázizomban vannak olyan miozinmolekulák is, amelyek szerkezete megegyezik a szívizomban lévő molekulák szerkezetével, az sem következhet be, hogy a vázizom annyira elernyed, hogy a páciens mozgásképtelenné válik. Hiszen az ott lévő szívizom miozinokra a szer nem hat, ezek tehát „tartják a frontot”.

Jövő év elején Magyarországon kezdődik meg az MPH-220 egyes fázisú klinikai vizsgálata, azaz egészséges önkénteseken fogják tesztelni a szer biztonságosságát, illetve az alkalmazható dózis mennyiségét.

Az MPH-220 2018 óta szabadalmi védetség alatt áll, amelynek nemzeti fázisait októberben adták be több mint ötven országba.

Gyimesi M. et al.: Single Residue Variation in Skeletal Muscle Myosin Enables Direct and Selective Drug Targeting for Spasticity and Muscle Stiffness. *Cell*, 15 October 2020. 183, 2, 335–346. e13. DOI: 10.1016/j.cell.2020.08.050

EDDIG ISMERETLEN EMBERI SZERVET FEDEZTEK FEL

Az orrüreg és a torok találkozásánál egy pár eddig ismeretlen nagy méretű nyálmirigyet fedeztek fel holland onkoradiológusok (The Netherlands Cancer Institute, University of Amsterdam). Mostanáig három pár nagy nyálmirigyet tartottak nyilván az anatómia tankönyvek: a fültőmirigyet, az állkapocs alatti mirigyet és a nyelv alatti mirigyet, és ismert volt az is, hogy elszórtan kb. ezer apró nyálmirigy helyezkedik el a szájüregben és a garatban. A most megtalált fülkürtmirigynek elnevezett páros szerv is nedvesítésre szolgál, mégpedig a garat felső, az orr és a száj közötti részének nedvesítésére.

Wouter Vogel és munkatársai az új nyálmirigyeket tulajdonképpen véletlenül találták meg, és nem azért, mert – gyanítva létezésüket – keresték őket. Ők valójában prosztatákban szenvedő páciensek daganatának esetleges áttéteit próbálták felderíteni izotópos nyomjelző PET-CT-technikával. Ennek lényege, hogy a prosztaták sejtek sejtmembránján nagy mennyiségben megjelenik egy prosztataspecifikus membrán antigén (PSMA) nevű fehérje, amely a távoli áttétek sejtjein is jelen van, hiszen azok is a prosztatadaganatból származnak. Néhány éve a nukleáris medicinába bekerültek olyan izotópos nyomjelző vegyületek, amelyek szelektíven kötődnek a PSMA-hoz, így alkalmasak a prosztaták kiújulásának és a távoli áttétek megjelenésének követésére. Vogelék a fej-nyaki régióban is keresték a páciensek prosztaták áttéteit, így fedezték fel a 4 cm hosszúságú, eddig ismeretlen mirigyeket. Az első megfigyelések után további 99 páciensen végezték el a PSMA PET-CT-vizsgálatot, hogy megbizonyosodjanak arról, hogy nem tévedésről van szó.

A felfedezésnek nem csupán az a jelentősége, hogy rámutat arra, hogy az emberi test még az évszázadok óta létező anatómia szempontjából is rejtegethet titkokat, hanem a fej-nyaki daganatok sugárkezelése szempontjából is fontos. A nyálmirigyek elpusztítása ugyanis a garatban, torokban, szájban szárazságot okoz, ami az evést, a nyelést, és a beszédet egyaránt megnehezíti, így jelentősen rontja az életminőséget. A sugárterápia megtervezésekor ezért a radiológusok – ha csak lehetséges –, igyekeznek a nyálmirigyek épségét megóvni, de mivel a

fülkürtmirigyek létezése eddig ismeretlen volt, bizonyára gyakran elpusztultak a radioterápia során.

Ezt támasztja alá, hogy a holland orvosok több mint hétszáz fej-nyaki sugárkezelésben részesült páciens adatait elemezve megállapították, hogy minél nagyobb sugárdózis érte az ismeretlen nyálmirigyek területét, a páciensek annál több mellékhatással küszködtek.

Valstar, M. H. – de Bakker, B. S. R. – Steenbakkers, J. H. M.: The Tubarial Salivary Glands: A Potential New Organ at Risk for Radiotherapy. *Radiotherapy and Oncology*, available online 23 September 2020. DOI: 10.1016/j.radonc.2020.09.034, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167814020308094>

A TÁVMUNKA SEM FENÉKIG TEJFEL

A járványveszély kikényszerítette „home-office” a pozitív fogadtatás és tapasztalatok alapján sok munkahelyen a majdani vírusmentes időkre is reális működési alternatívaként merül fel. Az előnyei közismertek; munkavállalói oldalról az utazások költségének és idejének megtakarításától a munkahelyi stressz megszűnéséig lehet sorolni az előnyöket, ugyanakkor a munkáltatók kiadásainak csökkenése is nyilvánvaló.

A kényszer szülte működési módnak a profitorientált vállalatok mellett nagy sikere van a felsőoktatás és a kutatás területén is. Sok egyetem bejelentette, hogy a távoktatást akkor is folytatni kívánják, amikor az élet visszatér a normális kerékvágásba. Egy most publikált norvég vizsgálat eredményei azonban ezen a területen már a negatív hatásokat is dokumentálják. A Norvég Tudomány- és Technológia Egyetemen 1600 hallgató és tizenhat oktató részvételével folyt vizsgálat eredményei szerint a megkérdezettek nagyon változatos módon reagáltak az új helyzetre. A közvetlen visszajelzések hiánya miatt sokan lettek alulmotiváltak. Másoknak az idő strukturáltságának megszűnése, az élet napi és heti rendszerének a megszűnése okozott gondot. Paradoxonnak is tekinthetjük, hogy miközben a munkastílus sokkal rugalmasabb lett, a csapatmunkában elvégzett munkák formálisabb és kevésbé kreatív eredményt hoztak. A magyarázat az igazi együttműködés hiányában, illetve az elszigeteltségben keresendő.

A cikk végkövetkeztetése, hogy a home office egyáltalán nem előnyös mindenki számára.

Sjølie, E. – Francisco, S. – Mahon, K. et al.: Learning of Academics in the Time of the Coronavirus Pandemic. *Journal of Praxis in Higher Education*, 2020. 2, 1, 85–107. <http://jphe.org/wp-content/uploads/2020/07/Sj%C3%B8lie-Francisco-Mahon-Kauko-Kemmis-pdf>

A VILLANYAUTÓNAK ELÉG HAT PERC A TANKOLÁSRA

Az elektromos autók gyors terjedését az utakon közlekedve statisztikai adatok nélkül is tapasztalhatjuk. Ezekben az autókban az energiátárolók a lítiumion akkumulátorok, ezek szempontjából a gyors feltöltés lehetősége elsődleges fontosságú. A jelenlegi szupergyors töltés is az órás nagyságrendbe esik, ami nagy hátrány a pár perces tankoláshoz képest.

Koreai kutatók ezekhez az akkumulátorokhoz olyan elektródanyagot fejlesztettek, amely hat perc alatt feltölthető kapacitása 90 százalékára. Mindezt úgy érték el, hogy az energiasűrűség nem csökkent, azaz a gyorsaságért cserébe nem kellett a méretet növelni.

A feltöltéshez szükséges időt ugyanis hagyományosan a fejlesztők úgy csökkentették, hogy az elektród anyagának szemcseméretét csökkentették, ez viszont az egységnyi térfogatban tárolható energia mennyiségét csökkentette. Ezzel szemben a most bemutatott elektród nem a szemcseméret csökkentésével, hanem egy új, a szemcsék belsejében képződő átmeneti fázis segítségével éri el a lítiumban gazdag és a lítiumban szegény fázisok átalakulási sebességének növekedését.

Az új típusú elektródanyag gyors kisütést is lehetővé tesz, a benne tárolt energiának akár 54 százalékát képes károsodás nélkül 18 másodperc alatt leadni.

A téma jelentőségét mutatja, hogy a 2019-es kémiai Nobel-díjat a „tölthető világ” megteremtéséért, azaz a lítiumion elemek felfedezéséért adták.

Kim, M. – Jeong, M. – Yoon, W.-S. et al.: Ultrafast Kinetics in a Phase Separating Electrode Material by Forming an Intermediate Phase without Reducing the Particle Size. *Energy and Environmental Science*, 2020. Advance Article, first published on 17 Sep 2020. DOI: 10.1039/D0EE02518F

MI LEGYEN A PET-PALACKOKKAL?

Az elmúlt hetven évben termelt, több mint nyolcmilliárd tonna kőolajalapú műanyag nagy része hulladékként még mindig jelen van életünkben, és olyan stabilak, hogy maguktól nem is hajlandók lebomlani. Ennek ellenére a teljes műanyaggyártás kb. 40 százaléka eleve egyszer használatos, eldobható termék-ként jelenik meg. A műanyagokat könnyebb és olcsóbb gyártani és eldobni, mint feldolgozni és újrahasznosítani. A valaha előállított plasztikholmik kb. harminc darab polietilén. Ez az anyag is – tipikus példája a „reklámszatyor” vagy a „nejlonzacskó” – nagyon stabil szerkezetű, nehezen lebontható. 400 °C felett gáz- és folyadékállapotú szénhidrogének és szén maradványok keletkeznek belőle.

Egy, a *Science* folyóiratban most megjelent cikk szerint amerikai kutatók alacsony hőmérsékletű, egylépéses katalitikus technológiát dolgoztak ki a polietilén

hulladékok újrahasznosítására. A kísérletekben például kereskedelmi forgalomban kapható polietilén szatyrokból és ásványvizes palackok kupakjaiból 280 fokon értékes vegyipari alapanyagokat állítottak elő.

A szerzők szerint a katalizátoron még van mit és lehet is mit javítani. Ebben feltehetően igazuk van, hisz kevésbé tűnik életszerűnek, hogy az általuk használt alumínium-oxid hordozós platinakatalizátoron ipari méretekben polietilén hulladékot recikláljanak.

Zhang, F. – Zeng, M. – Yappert, R. D. et al.: Polyethylene Upcycling to Long-chain Alkylaromatics by Tandem Hydrogenolysis/Aromatization. *Science*, 23 Oct 2020. 370, 6515, 437–441. DOI: 10.1126/science.abc5441

B E T E K I N T É S

Sorozatszerkesztő: Pomázi Gyöngyi

A sorozat betekintést nyújt különböző tudományágakba, szakterületekbe röviden, tömören, élvezetesen.

Az olvasó megtudja, mivel foglalkozik az adott tudomány vagy terület, és mi a célja, „haszna”.

A szerzők a téma szakértői, akik szeretik a tárgyukat, elkötelezettek, nagy tudással rendelkeznek. A művek célja a megismertetés, a tudás átadása, olykor bizonyos tévképzetek eloszlata megbízható szakemberek kalauzolásában.

A *Betekintés* többféle szakterületet dolgoz fel abban a reményben, hogy a megismerés, a különböző területekbe való bepillantás gazdagítja a gondolkodásunkat.

Féléves
előfizetési díj:
6990 Ft



Digitális kiadás: <https://mersz.hu/betekintes/>


MeRSZ.hu



AKADÉMIAI KIADÓ

www.akademiai.hu

Falus András, Feith Helga Judit

Egészségfejlesztés és nevelés

A kortársoktatás pedagógiai módszertana elméletben és gyakorlatban

„Ép testben ép lélek”. Köztudomású, hogy az egészség érték, s ennek megőrzése érdekében szemléletváltásra van szükség mind az egyén, mind a közösség, mind az egészségpolitika szintjén. Nélkülözhetetlen a prevenciós szemlélet hétköznapi gyakorlatba történő átültetése, és a hatékony testi és lelki egészségfejlesztés mi-nél fiatalabb életkorban történő megkezdése. Jelen munkánk elsődleges célja, hogy az elmélettől a kézzelfogható gyakorlati feladatokig bezárólag bemutassa az egészségfejlesztést, s azon belül különösképpen a kortársoktatás módszertanát.



Bolti ár:
4200 Ft

Nyomtatott mű: www.akademiai.hu

Digitális kiadás: www.mersz.hu



MeRSZ.hu



AKADÉMIAI KIADÓ

www.akademiai.hu

A következő szám tartalmából

- Nobel-díjak (orvosi, kémiai, irodalmi) 2020
- Óshonos népek közötti anyaggyűjtő gyakorlat a 19. században: Reguly példája
- A Magyar Tudományos Művek Tára – alapvető információk és működési alapelvek

2

0

2

0

Útmutató a cikkek megírásához:

www.magartudomany.hu/utmutato

A folyóiratra vonatkozó, szerzőknek szóló közlési elvek a fenti hivatkozásra kattintva találhatóak.



AKADÉMIAI KIADÓ

Tartalom

■ KÖSZÖNTÉS

Vizi E. Szilveszter: 1985–1990, a változás évei az Akadémián. Berend T. Iván, Akadémiánk 15. elnöke 90 éves

■ TEMATIKUS ÖSSZEÁLLÍTÁS: EGY HAZAI TUDOMÁNYOS NAGYPROJEKT: A LÉZERES TRANZMUTÁCIÓ TÖBB SZEMPONTBÓL

VENDÉGSZERKESZTŐ: Rácz Zoltán

Rácz Zoltán: Nagy költségű, nagy kockázatú, nagy hozam ígéretű kutatások és a tudományos közösség

Osvay Károly, Szabó Gábor: Lézeres neutronforrás fejlesztése

Hózer Zoltán: Az atomerőművekben keletkező radioaktív hulladékok jellemzői és kezelésük

Szieberth Máté: A transzmutáció mint a nukleáris hulladékok kezelésének egy lehetséges útja

■ TANULMÁNYOK

Halmi Péter: A populizmus ára: a Brexit-adó

Kóspál Ágnes: Az optikai interferometria 100 éve a csillagászatban

Kuslits Béla: Reziliencia: változás és állandóság társadalmi-ökológiai rendszerekben

Bartos Blanka: Újszülöttkori szűrővizsgálatok SMA-betegsége

Neményi Miklós: Az agrárium és az ökológiai fenntarthatóság. I. rész: Globális megközelítés, a gazdagok felelőssége

Neményi Miklós: Az agrárium és az ökológiai fenntarthatóság. II. rész: A harmadik zöld forradalom és a dolgok internete

■ KI A TUDÓS?

Vámos Tibor: A tudomány: önvédelmünk

■ VÉLEMÉNY, VITA

*Dékány Éva, Alpár Donát, Bálint Erika, Béni Szabolcs, Csupor Dezső, Gselmann Eszter, Kóspál Ágnes, Máté Ágnes, Toldi Gergely,
Török Péter, Solymosi Katalin: Fiatalkutatók nehézségei a COVID-19 járvány alatt*

Jarjabka Ákos, Kuráth Gabriella, Sipos Norbert, Venczel-Szakó Tímea, Szabó-Bálint Brigitta, Balogh Gábor, Uhrin Anett:

Rugalmasság, produktivitás vagy elszigeteltség? Avagy a COVID-19 hatása a felsőoktatásban oktatók munkavégzésére

■ KÖNYVSZEMLE

SIPOS JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

Rangsorba állítva – Hargittai István

Muzsikáló gyermekrádió – Gyombolai Bálint

■ KITEKINTÉS

GIMES JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

Ára: 980 Ft



2

0

2

0