

Bizonyosságok és bizonytalanságok a tudományban

A

Magyar Természettudományi Társulat
konferenciasorozata

Szerkesztette Tardy János

A
Magyar Természettudományi Társulat
tanulmánykötetei
VIII.

sorozatszerkesztő: Dr. Tardy János

Kiadja a Magyar Természettudományi Társulat
Budapest, 2026

Felelős kiadó: Dr. Tardy János



Tipográfia és tördelés: Geobook Hungary Kiadó

Nyomta: Belovits-Print Kft.

ISBN 978 615 5015 83 0

Konferenciafotók: Nemes Zoltán és Tardy János

A kötet megjelenését támogatta a
Miniszterelnökség Bethlen Gábor Alapkezelő Zrt.,
a Nemzeti Kulturális Alap (NKA) Ismeretterjesztés és Környezetkultúra Kollégiuma
a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal és
az Agrárminisztérium Természetvédelmi Államtitkársága



Minden jog fenntartva!

Bizonyosságok és bizonytalanságok a tudományban

A Konferenciasorozat szervezői:

Prof. Dr. Dévai György, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály elnöke

Prof. Dr. Gyulai Ferenc, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály társelnöke

Dr. Tardy János, PhD, c. egyetemi tanár
az MTT üv. elnöke

A kötetet szerkesztette

Tardy János
Gyulai Ferenc
Dévai György

TARTALOM

I. konferencia	9
Miklós László: <i>Fenntartható a fenntartható fejlődés és növekedés?</i>	13
Boros Emil: <i>Mi volt és mi maradt a lavór fenekén?!</i> <i>Bizonyosságok és bizonytalanságok vizes élőhelyeinket illetően</i>	23
Bergmann Annamária: <i>Kincses víz – vízkincs. A gyógyvíz hatására kialakult panaszmentesség bizonyos, vagy bizonyítani kell?</i>	32
Sümegei Pál: <i>Mítosz vagy valóság? A globális éghajlati változásról negyedidőszaki geológiai és őslénytani adatok alapján</i>	48
Szarka László Csaba: <i>Jégre vinni, vagy megtörni a jeget?</i>	56
Kordos László <i>Az őslények ikonográfiai átváltozásai – tényekből mesék</i>	68
Dévai György: <i>Sarkalatos hidroökológiai különbségek a víztér-tipológiai fogalmak értelmezésében</i>	72
 II. konferencia	 94
Ferencz Orsolya: <i>A burookban született emberiség</i>	97
Harangi Szabolcs: <i>Vulkánkitörések és földrengések – előrejelzések a bizonytalanságban</i>	100
Kerekes Sándor: <i>Az ökológia és az ökonómia vadházassága</i>	125
Heltai Miklós: <i>Miért természetvédelem a vadgazdálkodás? Konfliktusok és együttműködés</i>	166
Tóthné Maros Katalin: <i>Válogatós tyúkok, kíváncsi disznók és érzelmes marhák: avagy a nagyüzemi állattartás kihívásai</i>	168
Tóth Endre Kristóf: <i>Bizonyosságok és bizonytalanságok a növényorvoslásban</i>	170
 III.konferencia	 183
Kertész Ádám: <i>Elsivatagosodás – tények és kételyek</i>	187
Boros Emil: <i>Mi volt és mi maradt a lavór fenekén?!</i> <i>Bizonyosságok és bizonytalanságok vizes élőhelyeinket illetően</i>	198
Pénzesné Kónya Erika: <i>A jövő zöld bizonytalansága: anomáliák, biomassza arányok és a genetikai változatosság kérdései a növényvilágban</i>	207
Murányi Dávid: <i>Miért változnak folyton a „kőbe vésett” állattani tudományos nevek?</i>	220

Juhász Tibor: <i>(M)ennyire bízhatunk a matematikában?</i>	228
Váczy Kálmán Zoltán: <i>Dr. Jekyll és Mr. Hyde: a szőlő aszúsodása vagy szürkerothadása</i>	240
Bernert Zsolt: <i>Bizonyosságok a magyarság őstörténetében, bizonytalanságok az interpretációban</i>	250
Török Zsolt Győző: <i>Amerika vagy Újvilág? Bizonytalan körvonalak a 16. századi világtérképeken</i>	254
Kőrösi Mária: <i>Földrajztanítás a geográfus gróf Teleki Pál szellemiségében – bizonyosságok és bizonytalanságok a mai földrajztudomány tanításában</i>	270
Szamosi A. - Vágó J. - Farkas D. - Pecsmány P. - Szalontai L.: <i>A szállópor nyomában – hitelesített eszközök és low-cost szenzorok által mért adatok és modellek</i>	273
Benczik Izabella Júlia: <i>A bizonytalanság tudománya: a káoszelmélet és megjelenése az életünkben</i>	281
IV. konferencia	298
Szekanecz Zoltán: <i>Bizonyítékok vs hiedelmek a medicinában</i>	302
Farkas Csaba: <i>Bizonyosságok és bizonytalanságok a matematikában</i>	308
Demeter András: <i>Jönnék! De mik, hol és mikor? Az idegenhonos inváziós fajok előrejelzésének lehetőségei és korlátai</i>	323
Szép Tibor: <i>Változások kora – Tények a hiedelmekkel szemben a hazai madárvilág és a biológiai sokféleség helyzetéről a madarak monitorozása révén</i>	337
Szlávik Lajos: <i>Csak szembesüljünk, vagy nézzünk is szembe az árvízszintek emelkedésével?</i>	342
Turcsányi Károly: <i>Bizonyosságok és bizonytalanságok Közép-Ázsia geopolitikai szerepének átalakulásánál</i>	358
Ódor László: <i>Nyögvenyelős európai magyarságról – miért?</i>	392
Grigorszky István: <i>Bizonyosságok és bizonytalanságok az algológiában, avagy amitől még a szent dolgok is félremennek</i>	399

„A többség mindig téved, az abszolút bizonyosság általában hiba, az ember hagyjon helyet a kétségnek.”

(Alex Shearer)

Tisztelt Olvasó !

Társulatunk idén alapításának 185. esztendejét ünnepli. Ön az MTT tanulmánykötet sorozatának VIII. kötetét tartja kezében. Hagyományainknak megfelelően („Csalások, csúsztatások, csalafintaságok a tudományban”, „A biodiverzitásról másképp”, „Öntözzünk, de miből...?”, „A jövő nagy kihívása: kiberbiztonság és kiberhadviselés”, „Járványok a 14. századtól a koronavírus pandémiáig”) egy-egy közös gondolatra fűzött rendezvénysorozat üzeneteit kézbesítjük köteteinkben.

Ez a kiadványunk a *„Bizonyosságok és bizonytalanságok a tudományban”* című, négyrészes konferenciasorozat kézirateit foglalja egybe. Általában telt-házás rendezvényeinken a környezettudomány, az orvostudomány, a földtudomány, az élettudomány, az agrártudomány, a közgazdaság- és egyes társadalomtudományok jeles képviselői számoltak be arról, amit több évtizedes kutatásuk során bizonyosságoknak, illetve bizonytalanságoknak ítélnék tudományterületeiken.

Ez senkinek sem volt könnyű feladat, mert a tudományban a „bizonyosság” fogalma más, mint a mindennapok megkérdőjelezhetetlen igazságának fogalma. A tudományos életben a bizonyosság tulajdonképpen nem más, mint az akár több emberöltőn át felhalmozott bizonyítékok, folyamatos kísérletezések és elméletek tesztelése azon célból, hogy azok alapján megbízható, ha nem is 100%-ig helytálló elméleteket hozzanak létre.

A bizonyosságok és bizonytalanságok közötti bonyolult kapcsolatot az alábbi két idézet mindennél jobban fejezi ki:

„Ha mérhetővé teszed és számokkal kifejezhetővé azt, amit mondani akarsz, akkor tudsz valamit, de ha azt nem tudod számokkal kifejezni, akkor a tudásod nem kielégítő, csak csírájában mutatkozik meg, ami kevés a „tudományosság”hoz”.

Lord Kelvin

„A szakértők túlzottan magabiztosak abban, amiben hisznek, és azokat a bizonyítékokat választják ki, amelyek alátámasztják az ő igazukat, és nem szívesen vallják be, ha tévednek”.

Ellen Goodman

A kötet tanulmányaiból láthatóvá válik, hogy a tudósok eredményeikkel miként egyensúlyoznak a bizonyított tények és a bizonytalansági tényezők között.

„A kevés tudás veszélyes. Egy kis mennyiség csak megmérgezi az agyat. Úgy érezzük, hogy már mindent láttunk – pedig közel sincs így. Csak akkor lehetünk biztonságban, amikor ráébredünk, hogy sohasem tudhatunk mindent teljesen.”

(Suzanne O’Sullivan)

A konferenciák szervezői és a kötet szerkesztői köszönetet mondanak támogatóinknak (Miniszterelnökség, Agrárminisztérium Természetvédelmi Államtitkársága, Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal, Bethlen Gábor Alapkezelő Zrt., Nemzeti Kulturális Alap), a társszervezőknek (Magyar Természettudományi Múzeum, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, MTA DAB), akik a konferenciákon helyet és színvonalas körülményeket biztosítottak a nagyszámú érdeklődőnek és lehetővé tették e kiadvány elkészítését.

Ezt a kötetet a konferenciasorozat szervezői és a kötet szerkesztői szeretett és nagyrabecsült barátunk, tagtársunk, **prof. Dr. Gallé László** Széchenyi-díjas egyetem tanár emlékére bocsátják közre.



Bizonyosságok és bizonytalanságok a tudományban I.

Társrendező

Magyar Természettudományi Múzeum

A Konferenciasorozat szervezői

Prof. Dr. Dévai György, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály elnöke

Prof. Dr. Gyulai Ferenc, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály társelnöke

Dr. Tardy János, PhD, c. egyetemi tanár
az MTT üv. elnöke

A Konferencia fővédnöke

Dr. Réthelyi Miklós

az MTA doktora, az UNESCO Magyar Nemzeti Bizottság elnöke

2024. január 30.

Magyar Természettudományi Múzeum – Semsey-terem

1088 Budapest, Ludovika tér 2-6.



PROGRAM

- 10:00 **Bevezető gondolatok, köszöntő**
Prof. Dr. Forrai Judit, az MTA doktora, professor emeritus, az MTT Tudománytörténeti Szakosztály elnöke (Semmelweis Egyetem, ÁOK)
Dr. Tardy János, PhD, c. egyetemi tanár, az MTT üv. elnöke

Előadások I.

- Levezető elnök: **Prof. Dr. Sótonyi Péter**, az MTA rendes tagja, rector emeritus, az MTT tb. elnöke (Semmelweis Egyetem)
- 10:15–10:30 **Prof. Dr. Miklós László**, geográfus, a tudományok doktora (Szlovákia), az MTA külső tagja, (SzTA Tájökológiai Intézete, Pozsony)
„Fenntartható a fenntartható fejlődés és növekedés?”
- 10:30–10:45 **Prof. Dr. Boros G. László**, orvos, biokémikus, egyetemi tanár, az MTT Orvos-egészségügyi Szakosztály társelnöke (Kalifornia Egyetem, UCLA)
„Repedés az evolúción.”
- 10:45–11:00 **Dr. Bergmann Annamária**, főorvos (Hévízi Szent András Reumakórház és Gyógyfürdő)
„Kincses víz – vízkincs. A gyógyvíz hatására kialakult panaszmentesség bizonyos, vagy bizonyítani kell?”
- 11:00–11:20 Kérdések, hozzászólások és válaszok
- 11:20–11:40 Kávészünet

Előadások II.

Levezető elnök: **Prof. Dr. Gábris Gyula**, professor emeritus,
az MTA doktora, az MTT alelnöke (MTT – ELTE TTK)

11:40–11:55 **Prof. Dr. Sümegi Pál**, geológus, tanszékvezető
egyetemi tanár, az MTA doktora
(Szegedi Tudományegyetem Természettudományi
és Informatikai Kar, Földtani és Őslénytani Tanszék)
*„Mítosz vagy valóság? A globális éghajlati változásról
negyedidőszaki geológiai és őslénytani adatok alapján.”*

11:55–12:10 **Prof. Dr. Szarka László Csaba**, geofizikus,
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja
„Jégre vinni, vagy megtörni a jeget?”

12:10–12:25 **Prof. Dr. Kordos László** geológus, paleontológus,
az MTA doktora
*„Az őslények ikonográfiai átváltozásai – tényekből
mesék.”*

12:25–12:40 **Prof. Dr. Dévai György**, ökológus, hidrobiológus,
professor emeritus, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály elnöke
(Debreceni Egyetem, TTK, Hidrobiológiai Tanszék)
*„Sarkalatos hidroökológiai különbségek a
víztér-típológiai fogalmak értelmezésében.”*

Fenntartható a fenntartható fejlődés és növekedés?

Miklós László

SzTA Tájökológiai Intézete, Pozsony
Ústav krajinnej ekológie SAV, Bratislava
laszlo.miklos@savba.sk

A fenntartható fejlődés fejlődése

A mérföldkövek – az őskor

A második világháború után a legfejlettebb országokban rohamos ipari fejlődés indult be, amely – természetesen a mai szempontokból nézve – folyamatosan rontotta a környezet állapotát, főleg a levegő és a víz szennyezése által. Ez a folyamat nem volt ismeretlen, sőt, nagyon is látható volt, ennek ellenére a társadalom mintha valami katasztrófára várt volna, hogy a rossz folyamatot valamiképpen meg is fogalmazza. Az egyik ilyen „látványos“, de sajnos nagyon tragikus esemény a nagy Mikulás-napi Londoni köd volt 1952. december 5 táján, amikor a köd és a szénfűtésből eredő légszennyezés ezreket ölt meg, közvetlenül vagy közvetve. Ezután már a laikus és a tudós társadalom is komolyan kezdett a témával foglalkozni, kutatások és nyílt társadalmi kihívások formájában is. Az egyik legismertebb kihívás a Római klub által kezdeményezett tanulmány a Meadows házaspár csapata műhelyéből, amely végleges formában 1972-ben jelent meg *Limits to Growth (A növekedés határai)* cím alatt. Mindezt figyelembe véve az ENSZ 1972. június 5-16-ra világméretű környezeti konferenciát hívott össze Stockholmba (*UN Conference on the Human Environment*), ahol már erőteljesen megjelent az a nyilvánvaló, de ijesztő tény, hogy a jövőben már lehetetlen a gazdasági növekedés úgy, hogy közben tönkretesszük az életünk környezetét. Gro Harlem Brundtland, akkori norvég miniszterelnök asszony ezt egyértelműen – de ugyanakkor egyelőre csak elméleti síkon – meg is fogalmazta: a fejlődés nem ugyanaz, mint a gazdasági növekedés. Ő találta ki a paradigmává vált fogalmat, a „sustainable development“, a fenntartható fejlődés fogalmát. A fogalom szakmailag főleg a természetvédelmi világszervezet – az IUCN – által lett tudományos alapokon feldolgozva az 1980-ban megjelent *World Conservation Strategy* tanulmányban, majd az ENSZ által megszervezett szakmai bizottság – tudományosan az IUCN által támogatva – ezt politikailag is megfogalmazta az *Our Common Future* (az ún. Brundtland) report-ban 1987-ben. Itt már a témához kapcsolódva több tudományos definíció is megjelent, az alapdefiníció így hangzott: „A fenntartható fejlődés az, amely úgy elégíti ki a jelen generáció szükségleteit, hogy nem veszélyezteti a jövő generációk szükségleteinek kielégítését.“. Ez a definíció számtalan alakban megjelent, az egyik tetszetős és közérthető úgy

hangzik, hogy úgy kezeljük a Föld erőforrásait, mintha ezeket az unokáinktól kaptuk volna kölcsön, nem pedig a nagyapáinktól örököltük !



1. Ki tartsa fenn és kinek?

A következő mérföldkő a A Riói Csúcs volt 1992-ben (az ENSZ Környezeti és Fejlődési Konferenciája, az UNCED). Azóta a „fenntartható fejlődés“ hivatalosan a világpolitika egyik meghatározó részévé vált. Meg lett erősítve, hogy a fenntartható fejlődésnek 3 egyenrangú pillére van, mégpedig a környezeti, gazdasági és a szociális, amelyeknek összhangban kell lenniük. Itt lett kidolgozva az akkor a fentartható fejlődés tankönyveként, bibliájaként jelzett 40 fejezetes vastkos tanulmány, az AGENDA 21 – vagyis a 21. század agendája (akkor még 8 év hiányzott a századból). Ennek alapján lettek meghatározva a fentartható fejlődés mutatói. Sőt, ezen a találkozón lett elfogadva az ENSZ éghajlatváltozási keretegyezménye és az ENSZ Biológiai Sokféleség Egyezménye is. Érdekességként meg lehet említeni, hogy a konferencia egyik eseménye az Earth Pledge (Fogadalom a Földnek) volt, amelyet 120 ország elnöke, királya, vezető politikusa írt alá, többek között pl. az USA elnöke, a német kancellár, vagy Fidel Castro.

Nagy volt a lelkesedés, ráadásul a Riói csúcs előkészülete alatt (1990-92) a világpolitika is kedvező volt. 1990-ben ébredtek a szocialista tábor országai, már nem volt berlini fal, de még mindig létezett az NDK, szétesőben volt a Szovjetunió és Jugoszlávia, de még léteztek, Csehszlovákia is omladozott. Az egykori erős Kelet-Európai blokk az ENSZ-en belül szétesett, ezeket az országokat „átmeneti gazdaságok” (economics in transition) jelzővel illették.

Így hát a vitákban a legélesebb ellentét – ami piros vonalként húzódott a tárgyalások egész folyamán és húzódik a mai napig – a fejlett és az ún. fejlődő országok népes csoportja között volt. Ennek a vitának a lényege erősen leegyszerűsítve az, hogy a globális környezet károsodásáért és a társadalmi összeomlásért a fejlett világ gazdasága felelős az által, hogy kihasználja a fejlődő világ természeti és emberi erőforrásait, de hozzájuk az elavult szennyező technológiákat szállítja. Ezért a fejlett országoknak fizetniük kell, amit a fejlett országok tulajdonképpen elismernek. De hogy ez a fizetség mennyi legyen és milyen formában történjék, ma is borzolja a kedélyeket. Tehát maga a fenntartható fejlődés lényege – a gazdasági, társadalmi és a környezeti feltételek összhangja – már ezen a szinten meg lett rendítve. Manapság ezt a vitát inkább mint a „globális Észak” és a „globális Dél” harcaként jelzik.

Mérőföldkövek – az újkor

Annak ellenére, hogy a Riói Csúcs óta számtalan tanulmány és fontos dokumentum – az AGENDA 21-től (1992) az AGENDA 2030-ig (2015) – jelent meg, a lelkesedés a fenntartható fejlődés iránt lankad. Maga az eszme is meg lett kérdőjelezve, politikailag is, szakmailag is.

Új impulzusokra volt szükség. 2000. december 23-án New Yorkban, az ENSZ újabb csúcstalálkozóján lett elfogadva a UN Millenium Declaration, benne a 8 milleniumi fejlődési céllal (Millenium Development Goals – MDGs). 10 évvel a Riói Csúcs után az ENSZ összehívott egy újabb csúcstalálkozót 2002-re Johannesburgba (WSSD – World Summit on Sustainable Development), amit Rio+10-ként is emlegetünk. 20 év után, 2012-ben ismét Rióban tartották meg az új csúcstalálkozót, kevés sikerrel. Eredményesebb lett a 2015-re New York-ba összehívott csúcs (United Nations Sustainable Development Summit), aminek az eredménye az AGENDA 2030 (Az ENSZ Fenntartható Fejlődési Keretrendszere. A világunk megváltoztatása), melyben 17 fenntartható fejlődési célt fogalmaztak meg.

Összevetve e mérőföldkövek elvi/elméleti eredményeit azt kell hogy mondjuk, a Riói csúcs után igazán forradalmi áttörés már nem történt (2. és 3. ábra). A fenntartható fejlődés azóta inkább ágazati témákban lépett előre, mint pl. a



2. A fontos mérföldkövek eredményei



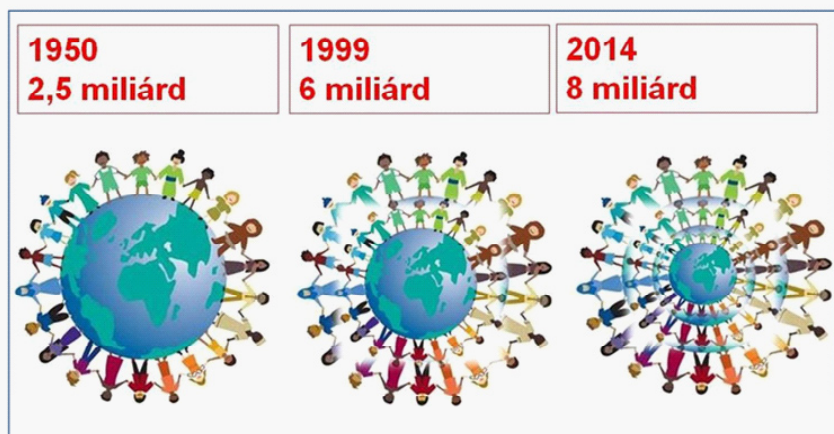
3. A világunk megváltoztatása. Az Agenda 2030

klimaváltozások, a biológiai sokrétőség, hulladékgazdálkodás, stb.

Ha a fenntartható fejlődés céljait és a gyakorlati eredményeket vetjük össze, méginkább lehet kételkedni a folyamat ésszerűségében. A kérdés az, mennyire tartjuk, vagy nem tartjuk be azokat a célokat, amelyek ezekben a dokumentu-

mokban meg lettek fogalmazva? A válasz természetesen ugyanúgy megfoghatatlan, mint a kérdés, de egy tényyszerű eszmefuttatást megkockáztathatunk. Nevezetesen, hogy hiába is igyekszik az emberiség egyik – bizonyosan a kisebb – része betartani a leírt fogadalmakat, tehát hogy úgy fogjuk használni erőforrásainkat, hogy az unokáinknak is jusson belőle, ha mindig többen és többen vagyunk a Földön és ennek a nagy szaporulatnak szüksége van az erőforrásokra. Nem is beszélve arról, hogy e tömeg nagy részének fogalma sincs a fenntartható fejlődésről, vagy ha van is, mindent elhomályosít az akut éhség és a szomj.

Igen, a fenntartható fejlődés legnagyobb veszélyeztetője a dinamikus népeszsaporulat, és sajnos a világnak éppen azon régióiban, ahol ez a népesség nehezen tud megbarátkozni az erőforrások ésszerű kihasználásával, vagy taka-



4. Zsugorodik a Föld?

rékosságával. Tehát zsugorodik a Föld?

A túlszaporulatnak egymást generáló következményei vannak, ezek felderítéséhez nem is szükséges kutató munka. A népességszaporulatnak enni és inni kell, megjelenik az élelem és vízhiány, ez a termőtalajok tönkretételét és kiélését, valamint újabb termőtalajok kialakítását eredményezi, ami természetesen erdőirtáshoz és a természetes élőhelyek eltűnéséhez vezet. Ehez még csatlakozik a hulladékprobléma, a víz- és levegőszennyezés. Mindez fokozatosan élehetlenné teszi e régiókat, ami zavargásokat, háborút és migrációt okozhat.

Mindezek környezeti egészségügyi problémákat is okoznak. A levegőszennyezés (SO_2 , CO , NO_2 , O_3 , Pb , szilárd részecskék) kb. 2,7 – 3 millió halált okoz évente, ebből 90% a fejlődő országokra esik. A vízszennyezés, a fertőző betegségek, a higiénia hiánya évi 12 millió elhalálozásért felelős. A környezeti ártalmak

által okozott betegségek számlájára összesen kb. 55,7 millió elhalálozást írhatunk évente.

Alá kell húznunk, hogy óriási különbségek vannak a gazdag és a szegény országok között, ahol még tényleg nem a fenntartható fejlődés ismerete a vezető téma! Viszont ezek az adatok is egyértelműen bizonyítják, hogy a környezeti, gazdasági és szociális feltételek szorosan összefüggnek, tehát *a fenntartható fejlődés 3 pillérének egyenlő módon való kezelése elengedhetetlen.*

A fenntartható fejlődés 3 pillére

A fenntartható fejlődés 3 pillére tehát a környezeti (enviro), gazdasági (econo) és a társadalmi (socio) pillér, ezekhez még hozzátartozik a kultúra is. A pillérek az elmélet szerint integráltak, egyenrangúak, de kétségtelen, hogy a környezeti károsodások miatt lettek megalkotva. A fenntartható fejlődést – amely sokszor a növekedés csökkenését kívánja meg – a környezetvédelem erőlteti, de ki az, aki szívesen fogadja el ezt a tézist?

Most vizsgáljuk meg a pilléreket, nem közhelyszerűen, de nem is politikai aludvariassággal, hanem szakmailag. Tehát:

a) „Enviro”: a **fizikai-környezeti** feltételek

Ez maga A KÖRNYEZET, melynek a fizikai lényege a legmegátalkodottabb, az anyagi lényege nehezen változtatható. Ez a táj – a geoökoszisztéma – elsődleges szerkezete.

b) „Econo”: A **gazdasági** feltételek

A gazdasági szféra alapvető támasza a geoökoszisztémák adottságainak használata, ezért általában antagonisztikusan reagál a környezetvédelemre. A leglátványosabb kapcsolat a tájhasználat/tájtakaró változása, tehát a másodlagos tájstruktúra. A gazdasági szféra egyértelműen erősebb, mint a környezetvédelmi. Még formálisan is: egy-egy kormányban egyetlen környezetvédelmi minisztérium áll szemben az összes többi gazdasági tárcával (Magyarországon jelenleg még egy sem), többé-kevésbé ezek engedékenységtől függ a környezetvédelem sikere.

c) „Socio”: a **társadalmi-kulturális** feltételek

Ebben a pillérben a környezetvédelem szempontjából a legfontosabbak: a lakosság életszínvonalának fenntartása, a társadalmi kultúra szintje és bizonyosan az ökológiai tudat is. Mindezeket a gazdasági-szociális rendszer szabályozza. Ide tartoznak a környezetvédelem jogi szabályozói is.

Ezek a feltételek az EU-ban egységesültek, kivéve a fizikai környezeti feltételeket, melyek helyhez kötöttek, stabilak, legalábbis sokkal lassabban változnak, mint a másik két feltételcsoport. Viszont ezek régióként változnak, mindenütt

sajátságosan: a megváltoztathatatlan természeti törvényszerűségeknek megfelelően reagálnak az ember beavatkozásaira.

A fentiekből nyilvánvaló, hogy az, ami helyről-helyre változó, ugyanakkor az adott helyhez kötve nehezen változtatható, az ember által megsértve veszélyes irányba fejlődhet: tehát a fizikai környezeti feltételek azok, amik igazán igénylik a fenntartható fejlődés környezeti pillérét. Mégis, a döntéshozók többsége (szubjektív szakmai műveltségéből adódóan) kevésbé ért ehhez, mint a másik két pillérhez. A környezetvédelemnek a gazdaságra és a szociális szférára kiható vélt vagy valós következményeit sokkal inkább érzékelik, mint vice versa a gazdaság és a társadalomnak a környezetre való káros hatását. Ugyanakkor mindkét oldalon hiánycikk a megfelelő hatékonyságú áthidaló képesség, pl. politikai, gazdasági, szociális érvekkel is hathatóan alátámasztani a környezetvédelem fizikai törvényszerűégeit és a szükséges intézkedéseket.

Mi lenne szükséges e pillérek tényleges integrációjához?

Integráció a fenntartható fejlődésben

Elméletileg megfogalmazva már maga a fenttartható fejlődés fogalma is *integrált paradigma*. Pl. a Riói Csúcskonferencia vége felé már azon élcelődtünk, hogy a konferencia megnevezésében – *United Nation Conference on Environment & Development* – a legfontosabb szócska az „&”! Értsd: hogy nem lehet fejlődésről beszélni környezetvédelem nélkül. Az integrációt a többi későbbi csúcstalálkozó is támogatta, pl. a Johannesburgi Rio+10 egyik elvcsoportja a „over-sectoriality, over-regionality, complexity” volt. Vagy az AGENDA 2030-ban elfogadott célok talán leggyakoribb fogalma a mindenütt megjelenő (mindent magába foglaló) „inclusive”.

Sajnos, a realitás az, hogy az integrációval szemben kemény az ellenszenv, inkább a rezortizmus, a homokozók elosztása, az integratív versus ágazati szemlélet ütközése a jellemzők. Az alapvető szakmai probléma tulajdonképpen az integráció fogalmának eltérő értelmezése. A minden ágazatot átfogó döntéshozatal értelmezés nagyon ritka, az ágazatok (az ágazati hivatalnokok és tervezők) igyekeznek ellenállni az ágazatokfeletti koncepcióknak, ugyanúgy a környezetvédelmi korlátozásoknak a koncepciókba és a tervekbe való integrációja ellen.

Mit is lehet ezzel kezdeni? Nem lehet mindent megoldi, de meg lehet próbálni. Csak példának: Szlovákia első környezeti politikájában (1990) a fenntartható fejlődés megfoghatóbb módon a *Társadalmi fejlődés ökológizációja*-ként lett megfogalmazva, 4 szférában, nevezetesen 2 felépítményi – a társadalmi tudat, a törvényi és gazdasági eszközök ökológizációja – valamint 2 alap szférában – a

területi elrendezés (beleértve a természetvédelmet is) és a technológiai folyamatok ökológizációja. A sorrend nem véletlenszerű – a társadalmi tudat ökológizációja szándékosan szerepelt az első helyen – tényleg ilyen sorrendben képzeltük el az utat a fenntartható fejlődés felé. Valójában ilyen módon lett a fenntartható fejlődés elve becsempészve a reálpolitikába.

Mi minden kellene még e pillérek integrációjához? Integrált eszközök, ez nem unifikáció, globalizáció vagy homogenizáció! Integrált eszközök a tudományban, az oktatásban (a fenntartható fejlődés tudománya és oktatása), a területrendezésben, a technológiákban. Mindez viszont a gyakorlatban ütközik úgy az erőteljes ágazati politikákkal, gazdasági irányítással, közigazgatással, sőt sokszor az egyéni elképzelésekkel is, mint az ágazati szemléletekkel a tudományban és az oktatásban is.

Ha csak a fizikai környezetet érintő tudományokat nézzük, a táj, mint geökoszisztéma komplex ismerete elengedhetetlennek kéne hogy legyen az integrált környezetvédelemhez és a tájmenedzsmenthez. Az integrált tájtudományok ugyanúgy kulcsfontosságúak több nemzetközi reálpolitika irányításához is, mint pl. Az AGENDA 2030 több fejezete, a NATURA 2000, a Keret Vízirányelv, az EU Közös Agrárpolitikája, a Green Deal, stb.

Mindezek ellenére a döntéshozók a tudományok szerepéről a politikában kissé más véleményen vannak. Előnyt élveznek azok a megoldások, amelyek minél előbb sikereket mutatnak fel (legjobb, ha már 4 év alatt). Tehát a szakadék létezik az „adó” (tudomány) és a „vevő” (döntéshozás) között!

Milyen tudományágak szükségesek e hírhedt szakadék áthidalásához? Ha közhellyel akarunk élni, a válasz egyszerű: interdiszciplináris tudományágak. Ezeket úgy-ahogy ismerjük. Összetettebb a nem közhelyes válasz: szükségesek a tudományalkalmazás és a tudománytölmácsolás „tudományai”. Ez bizony jóval nehezebb dió, mert ezeknek nem ismerjük a pontos szillabuszát.

Ezek lennének esetleg a szó szerinti fenntartható fejlődés tudományai???

A fenntartható fejlődés stratégiájának mérlege

Az alapvető kérdés tehát az, hogy fenntartható-e a fenntartható fejlődés? A formális választ a fenntartható fejlődés mutatói hivatottak megadni, amelyekből jó néhány ismert. Az ENSZ a Riói Csúcs után 134 mutatót definiált, amelyekről megkövetelte a tagországok jelentéseit. Ez a nagy szám sajnos nem segítette a fenntartható fejlődés integrált megértését. Ezért a Világbank, az UNEP, az OECD, az EEA aggregált mutatókkal, különböző indexekkel próbálkoznak.

Ilyenek pl. az ökológiai lábnyom, a fenttartható fejlődés index, a jóléti index, stb. Az országok sorrendje az egyes indexeknél majdnem ugyanolyan. A legjobb országok: Svédország, Finnország, Svájc, Luxemburg, Norvégia, a legrosszabbak: Mauritánia, Zaire, Etiópia, Niger, Afganisztán. Magyarország és Szlovákia a 25. – 35. hely között mozog.

A mérleget a dokumentumokban meghatározott célok szerint is megítélhetjük, pl. hogyan teljesültek az ENSZ milleniumi céljai?

Az adatok szerint a szegénységben élők száma felére csökkent. Több mint 2 milliárd ember jutott jobb ivóvízhez. De mivelhogy azóta óriási a népszaporulat, ezek a számok szinte elvesznek, hiszen szélsőséges szegénységben még mindig 1,2 milliárd ember él, 4 másodpercenként hal meg egy gyermek valamilyen megelőzhető okból, több mint 900 millió ember tartós éhségben szenved, de viszont az élelmiszertermelés elérte a kritikus határokat.

Fenntartható-e tehát a fenntartható fejlődés? Annyit megtanultunk, hogy hagyni kell az erőforrásokból az utódainknak. Dehát hogyan, ha mindig többen vagyunk és a jelen társadalomnak is égető és szó szerint létfontosságú szüksége van a forrásokra?

Persze, van néhány elmélet, pl. a “decoupling” (lecsatolni a fejlődést a növekedésről). Ez azt jelenti, hogy le kellene állítani a növekedést? Mert nyilván nem a fejlődést szeretnénk leállítani! De akkor minek a növekedését? Az élelmiszergyártásnak, aminek a szántóföld az alapja? A szántóföld gyarapodását? Az energiahasználatnak? A fogyasztásnak? Takarékoskodjunk? Mindez jogos szakmai felvetés, de hát hányan fogadják ezt el a 8 milliárdból. És abból a 1,5-2 milliárdból, akik tömeges ínségben szenvednek?

Tehát minek a növekedését állítsuk le? A népesedésnek!? Ez bizony tárgyi-lagosan és ridegen számítva megoldás lenne!!! De egyelőre globális mértékben nem nagyon reális (!!).

Bizony, több itt a jó kérdés, mint a jó válasz!

Tehát nem lehetünk elégedettek. Tegyük fel a kérdést: mit tettünk eddig és toldjuk meg a kérdést azzal, hogy mi történt volna környezetünkkel, a Föld erőforrásaival, ha mondjuk az 1972-es Stockholmi konferencia óta nem igyekszünk erőfeszítéseket tenni a fenntartható fejlődésért?

És milyen az eredmény? Talán ideillik Arkagyij Rajkin oroszosan kiejtett szállóigéje, még a mély szocializmus idejéből (Rajkin szovjet humorista volt):

“Válámi van! De nem az igazi !“

De ha nem tettünk volna, nem tennénk semmit, ez a “válámi” se volna.

Zárszó – enyhe optimista színezettel

A Riói Csúcs óta eltelt több, mint 3 évtized. A lelkesedés bizonyosan apadt, de azt bátran el lehet mondani, hogy akkor elindult egy folyamat, amit már nem lehetett megállítani. Ma már elképzelhetetlen, hogy bármilyen emberi cselekvésnél ne vizsgáljuk meg annak a környezetre való hatását. Ez mindennapivá vált, még ha az eredmény gyakran vita tárgya is. Talán nincs olyan nemzetközi fórum, bármilyen tárgyban, hogy ne kerülne szóba pl. a klímaváltozás, a biológiai sokszínűség – amelyeket a nemzetközi jog szintjére éppen a Riói Csúcs emelt –, vagy a levegő és vízszennyezés. Tehát azt elmondhatjuk, hogy ma már nincs gazdasági fejlesztés/növekedés környezeti megfontolások nélkül. De hogy ez elegendő-e a *fenntarthatósághoz*, kérdéses.

Az viszont talán nem kérdéses, hogy az emberiség találékony, továbbra is küzd és igyekszik. Pl. nem régen fogott hozzá a CO₂ neutralitás meghatározásához, az ökoszisztéma szolgáltatások jobb kihasználásához, kitalálta a Green Deal-t, új erőforrásokat és ezek új használati módszereit keresi és találja meg. Figyeljünk oda!

Mindeközben alkalmazkodunk, még ha nem is tetszik a dolog.

Az emberiség átlagéletkora pedig növekszik!

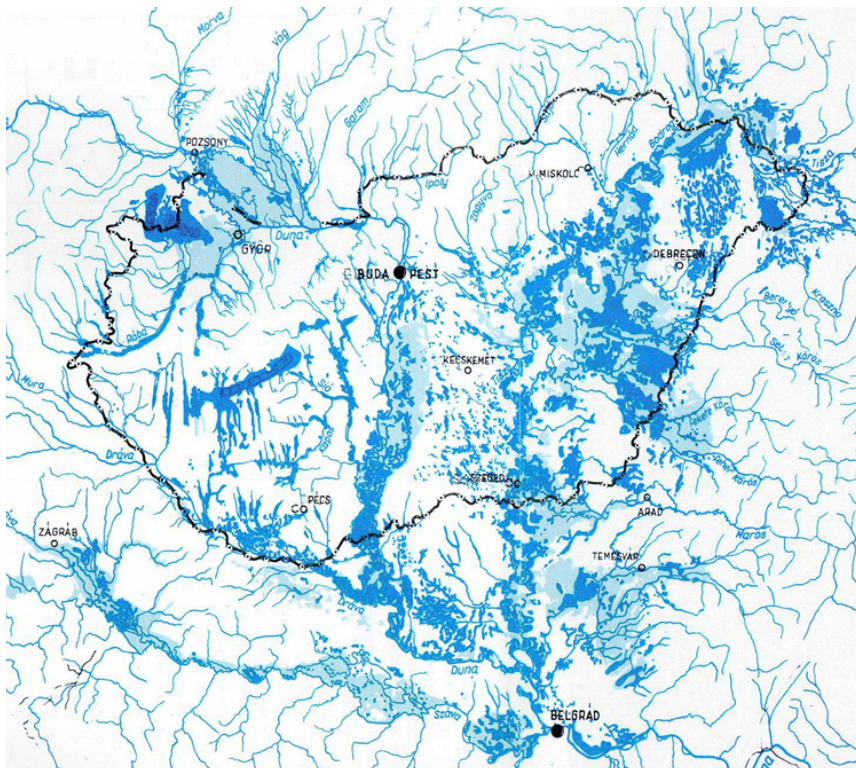
Mi volt és mi maradt a lavór fenekén?! ***Bizonyosságok és bizonytalanságok vizes élőhelyeinket illetően.***

Boros Emil
HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont, Vízi Ökológiai Intézet
drborose@gmail.com

Sok bizonytalanság és félreértés adódik abból, hogy összekeverjük a valódi tavak és vizes élőhelyek fogalmát illetve működését, pedig ennek nagy jelentősége van hazánkban. A vizes élőhelyek szemi-akvatisz rendszerek, a szárazföldi (terresztris) és a vízi (akvatisz) ökoszisztémák között foglalnak helyet, melyek jelentősége és területi kiterjedése Magyarországon is különös jelentőségű. Vizes (szemiakvatisz) élőhelyeknek tekintjük azokat a természeti egységeket, amelyeknek felületarányos átlagos vízmélysége – középvízállás esetén – a két métert nem haladja meg, az ennél mélyebb víztereknek pedig azokat a részeit, amelyeknek legalább egyharmadát makrovegetáció (hínár- és/vagy mocsári és/vagy szegélynövényzet) borítja vagy kíséri. Továbbá azokat a természeti egységeket, ahol olyan hidromorf talajok találhatók, amelyeknek felső rétege tartósan vagy legalább hosszabb időtartamig vízzel átitatott, s ezért jellegzetes, többnyire nagy vízigényű vagy jó víztűrésű növényállományokkal (nádasokkal, magassásosokkal, láp- és mocsárrétekkel, mocsári gyomtársulásokkal, iszap- és zátony-növényzettel, nedves és vakszikesekkel, láp- és mocsárerdőkkel, bokor-füzesekkel, puha- és keményfa-ligeterdőkkel, égerligetekkel), ill. azok jól felismerhető maradványaival jellemezhetők (Dévai, 1998).

A „tó kontra vizes élőhely” kérdésében bizonyosságok is vannak hazánkat érintően. Bizonyosság, hogy a vízrendezések előtt Magyarországnak kb. 45%-a volt időszakos és állandó, folyó és állóvizekkel érintett terület. Az ármentesítés következményeként az árterek 95%-át veszítettük el, melyek a vízrendezéssel érintett területekkel együtt napjainkban mezőgazdasági használat alatt álló ún. kultúrtáj. A hajdani vízi és vizes élőhelyek hálózatát mutatja be a gyakran „pocsolatérképként” is emlegetett 1. ábra a következő oldalon, a folyószabályozások és a vízrendezések előtti állapotban.

A Kárpát-medence hidrogeológiai szempontból egy olyan zárt jellegű üledékes medence, ahol a felszín alatti gravitációs áramlási rendszereknek nagy jelentősége van, és részben ezek hatására itt különleges vizes élőhelyek is kialakultak, melyek jelentős mértékben felszín alatti vizektől függő ökoszisztémák. Ezen unikális ökoszisztémák kis számban fennmaradt képviselői kiemelt jelentőségű élőhelyeket képeznek a hazai védett területek hálózatban, így a felszín alatti vízkörforgástól (hidrológiai ciklusok) függő különleges hidrológiai

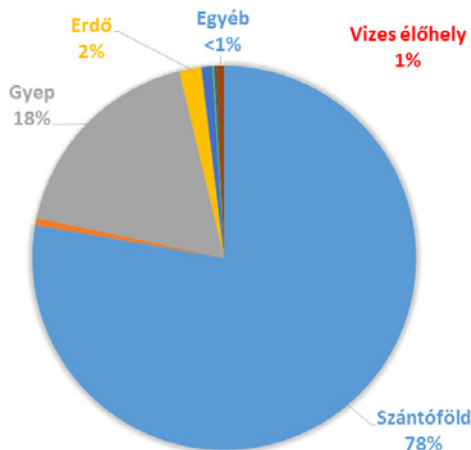


1. ábra. A Kárpát-medence vízrajza a vízrendezések előtt és után. Forrás: Magyar Királyi Földművelésügyi Minisztérium Vízrajzi Intézet (1856)

rendszerek (szikes tavak, lápok, barlangok, források, víznyelők) a Természetvédelmi Törvény (1996. évi LIII. Tv.) által „ex lege” (a törvény erejénél fogva) védett természeti területek hazánkban. A szikes vizek nagyléptékű eltűnésének voltunk tanúi a múlt század közepétől kezdődően, amely mintegy 85%-os élőhelyvesztést jelentett a régióban, és ez a folyamat sajnos még nem állt meg. Ezzel egyidejűleg a vizes élőhelyek beszűkülése 70%-ra becsülhető a régióban (Boros és mtsai. szerk., 2013).

A mezőgazdasági területeken gyakori probléma az úgynevezett belvíz, ami nem más, mint a lecsapolt korábbi vizes élőhelyek medreiben felgyülemelő csapadékvíz. Elméleti szinten említettem meg, hogy a vizes élőhely hálózat átlag 5 cm-es vízborításának térfogata nagyságrendileg megegyezik az ország évi 2 km³ vízfelhasználásával, ami a Balaton jelenlegi medrének maximális víztérfogata, tehát maximálisan ennyi vizet kéne rendszeresen visszapótolni ahhoz, hogy a vizes élőhely hálózat megfelelően működjön. Ezeknek a belvizes területeknek

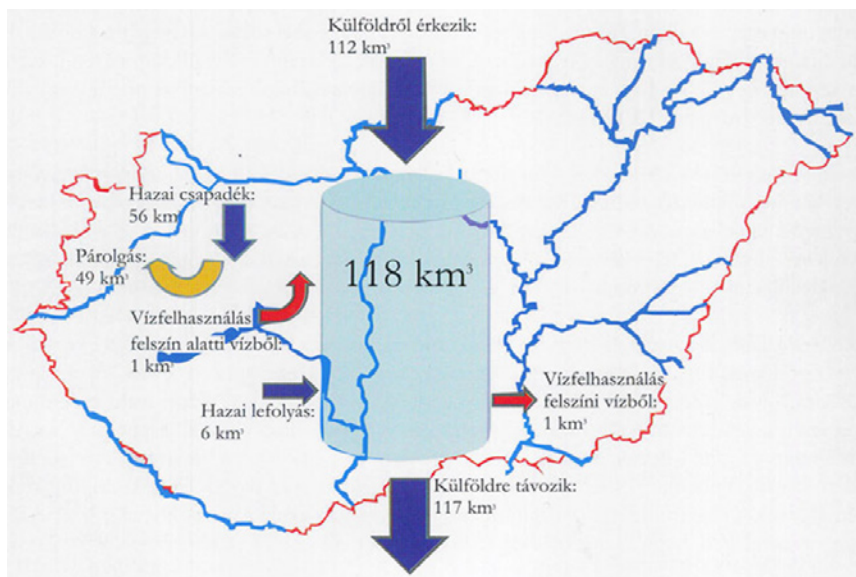
jelenleg a 78%-a szántóföldi művelés alatt áll, viszont ezek a víznyomások területek gyakran nem, vagy csak korlátozottan művelhetők gazdaságosan (2. ábra). Ezért ezeken a területeken a vízmegőrzés céljából minél nagyobb arányban lenne szükség az eredeti vizes élőhelyek helyreállítására, amihez a művelési ág megváltoztatására is szükség van. Ugyanakkor a művelésváltás nem jelenti ezen területek teljes felhagyását, mert a vízmegőrzéssel összeegyeztethető gazdálkodás továbbra is végezhető lenne ezeken a helyreállított vizes élőhelyeken, például legelő, kaszáló, nádas, erdő, vagy vízállás művelési ágaknak megfelelően.



2. ábra
A belvizzel borított területek felszínborítás (Corine) szerinti megoszlása Magyarországon

Hazánk felszíni vízkészlete mennyiségi és minőségi vonatkozásban is igen kitett helyzetben van, ami behatárolja a vizektől függő ökoszisztémák helyzetét, de jelentős nemzetgazdasági és társadalmi kérdéseket is felvet, különösen a klímaváltozás egyre jobban érzékelhető negatív hatásainak tükrében. A nemzeti vízstratégia adatai szerint (2017) a medencébe befolyó vizek 95%-a külföldről jön, de ennek a nagy része ki is megy az országból a vízfolyásokon keresztül. A bevételi oldalon jelentkező befolyó víz és csapadék, illetve a kiadási oldalon a kifolyó víz és a belső vízfelhasználás éves mérlege köbkilóméterben kifejezve a közölt becslések szerint egyensúlyban van (3. ábra, következő oldal), mégis azt látjuk, hogy egyre kevesebb a felszíni víz az országban, sőt a talajvízszint is egyre jobban süllyed az egész Alföldön (6. ábra).

Hogyan lehetséges ez? A csapadék a befolyó vízkészletnek a fele, de ez nagyon szeszélyes eloszlású és ami nagyon lényeges, hogy egyre kevesebb hó esik, ami a talaj vízkészletének visszapótlását szolgálná a beszivárgással, valamint csökken a felszíni vizek jégborításának mértéke és időtartama, ami viszont fokozza a párolgási veszteséget. A tavasztól őszi (vegetációs időszak) lehulló csapadék nem tud beszivárogni a talajba, mert elpárolog, illetve a növények elpárologtat-



3. ábra. Magyarország vízmérlege. Forrás: Nemzeti vízstratégia (2017)

ják. Ugyanakkor a klimatikus kérdések mellett riasztó adat, hogy a teljes vízfelhasználásunk közel fele a felszín alatti vízkészletekből származik, valamint a felszíni vízkészletek szűkülésével fokozódik az igény a felszín alatti vízkészletek kihasználására. A folyók vízjárása is változásokat mutat és a medermélyülés is folyamatos. Összességében a különféle hatások eredője az, hogy egyszerre van jelen árvíz, belvíz, aszály a térségben, és ezek a problémák a természeti és a társadalomföldrajzi adottságok, illetve folyamatok komplex eredője, tehát nem kizárólag a klímaváltozás felelős a problémákért, hanem mi is! A vizek mennyiségi kérdései mellett azt is meg kell említeni, hogy a felszíni és a felszínközeli víztestekből kevés számít jó ökológiai állapotúnak.

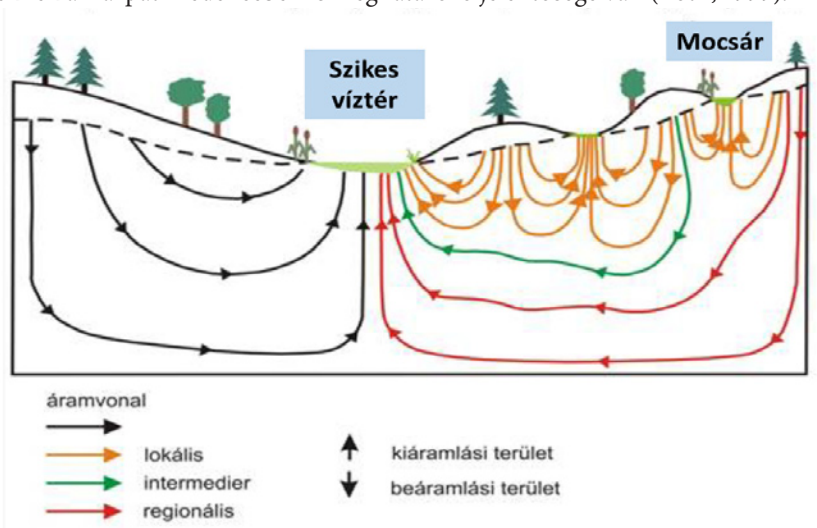
A szikesek az EU-direktívákban kiemelt prioritást élveznek, illetve a Ramsari területek hálózatában is előkelő helyet foglalnak el. A 29 hazai Ramsari-területből kilenc tartalmaz szikes ökoszisztémákat (szikes vizes élőhelyeket). Mivel a Kárpát-medence és ezen belül Magyarország a szikesek előfordulási helyének európai súlypontja, így például a Fertő Európa legnagyobb szikes víztere, tehát ezeket a különleges ökoszisztémákat csak itt lehet megőrizni és helyreállítani az európai kontinensen! Így tulajdonképpen mondhatjuk, hogy szikes nagyhatalom vagyunk Európában (https://mta.hu/tudomany_hirei/tudta-hogy-magyarorszag-igazi-szikesto-nagyhatalom-109337). Ez egyrészt öröndetes, de ugyanakkor nagy felelősség és kihívás is a megőrzésük.

A szikes ökoszisztémák globálisan korlátozott elterjedési területű, különleges és nagyon változatos élőhelyek. Az életközösségüket gyakran magas biodiverzitás jellemzi, bennszülött fajok kapcsolódnak hozzá, és természetesen ezek különösen veszélyeztetettek, mint ahogy világszerte a vizes élőhelyek. A Fertő (osztrák nevén: Neusiedler See) állapotváltozásai, mint a legnagyobb európai szikes víztér esettanulmányként szolgál a szikesekre nézve. A XIX. században még döntően nyílt víztér volt, majd a XX. század első felében, viszont amikor a Hanság lecsapolása történt, a Hansági-főcsatornán keresztül a Fertő vizét is szabályozták. Az 1950-es évekre a mocsárinövényzet, elsősorban a nád (*Phragmites australis*) rohamos előretörése ment végbe, mert a lecsökkent vízszint miatt az elmocsarasodás irányába kezdett átalakulni a víztest. Ezt próbálták később ellensúlyozni, ezért a XX. század közepén vízszintemelés történt, és a 1960-as évek óta gyakorlatilag egy vízszintstabilizálási törekvés jellemző a tó szabályozásában. Ennek ellenére a nádas kiterjedése azóta is lassan, de folyamatosan változik és tovább fogy a Fertő nyílt vize, így részben a szabályozásnak is köszönhetően a Fertő nem igazi tó, hanem vizes élőhely. A Fertő hosszútávú megőrzése és lehetséges mértékű rehabilitációjához egyrészt tisztázni szükséges a víztest vízforgalmát (mérlegét) befolyásoló tényezőket (pl. a nádas öv párologtatása, a felszín alatti vizek szerepe, hidrológiai kapcsolat a Hansággal), másrészt meg kell gátolni a nádas további térhódítását. Mivel a Fertő a vízrendezések előtt összefüggő vízteret alkotott a Hansággal (4. ábra), ezért ezek helyreállításának lehetőségét egymással összefüggésben kell megvizsgálni (Boros és Vörös, 2024). A Fertőhöz hasonló jellegű és sorsú szikes víztér a Velencei-tó, amely szintén jelentős szabályozáson ment keresztül, de kezelésére és helyreállítására a Fertőre vonatkozó irányelvek a meghatározóak.



4. ábra. A Fertő Európa legnagyobb szikes víztére és a Hanság lápvídéke 1788-ban.
Forrás: Hegedűs 1788,
Országos Széchényi Könyvtár, TK 1614.

A problémák alapján látható, hogy még sok bizonytalanság van a regionális hidrológia ciklus felszíni és felszín alatti működését illetően, pedig a felszíni vizek a víz körforgásának csak az egyik felét jelentik, úgy is mondhatnánk hogy a „jéghegy csúcsa”. Az állóvizeink vízforgalmában általában teljesen elhanyagoljuk a vízkörforgás felszín alatti ágát, ami sok félreértéshez vezet, pedig a tavak és vizes élőhelyek fenntartható helyreállítása és kezelése csak a hidrogeológiai (vízföldtani) kialakulásuk és ökológiai működésük komplex megértésével lehetséges. Tudjuk, hogy a folyóknak, a tavaknak, a tengereknek meg a felhőknek nagy jelentősége van a vízforgalomban, de keveset gondolunk arra, hogy a felszín alatti vizek ugyanúgy részt vesznek ebben a ciklusban, melyek együtt alkotják a vizek körforgását. Tóth József neves hidrogeológus professzor már az 1960-as években megalkotta azt a jelentős hidrogeológiai modellt, miszerint vannak regionális, átmeneti és helyi felszín alatti gravitációs áramlási rendszerek, melyeknek a Kárpát-medencében is meghatározó jelentősége van (Tóth, 1999).



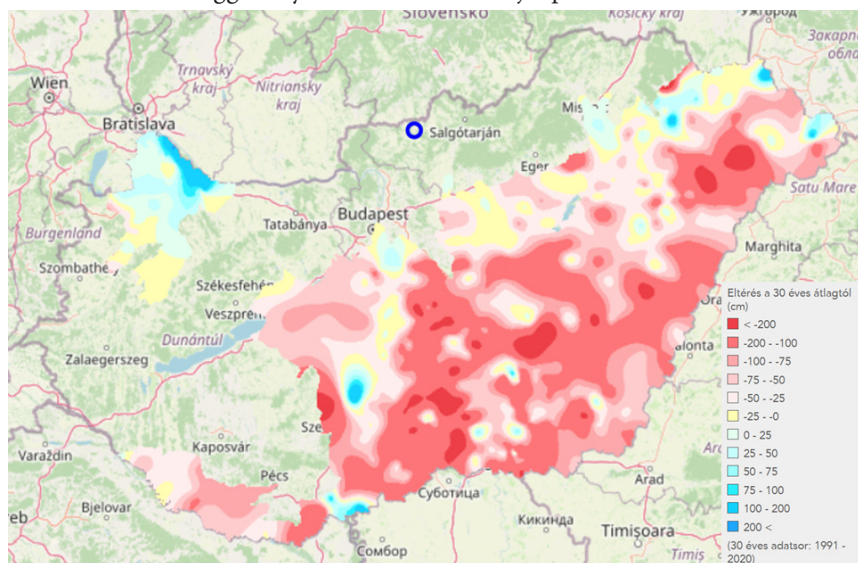
5. ábra. A gravitációs felszín alatti vízáramlások és a vizes élőhelyek tagozódása.
Forrás: Mádlné Szőnyi (2013) és Tóth (1999)

A modell szerint a lápokot részben, míg a szikes vizeket nagyobb részben helyi felszín alatti gravitációs áramlási rendszerek táplálják vízzel, amely a helyreállításuk szempontjából is meghatározó. Ezzel szemben a mocsarakat leginkább a felszíni vízgyűjtőn összefolyó vizek táplálják, ezért ezek helyreállítása közvetlen felszíni vízpótlással viszonylag egyszerűen lehetséges, amire számos működő elsősorban természetvédelmi példát találunk, míg a felszín alatti vizektől függő vizes élőhelyek esetében ez nem elégséges. Ezek esetében olyan köz-

vetett megoldásokat kell alkalmazni, melyek elősegítik a felszín alatti áramlási rendszerek helyreállítását. Ilyen megoldás lehet a beszívárgási területek vízpótlása, illetve a vizes élőhely hálózatban a célterülethez hidrológiailag a felszín alatt kapcsolódó mocsári jellegű vizek árasztása, így a várható elszívárgáson keresztül valósulhat meg a közvetett, felszín alatti vízpótlás. Az ilyen típusú vizes élőhely rehabilitáció kivitelezése sokkal nehezebb feladat, mint a közvetlen beavatkozások, de van már erre is működő példa. Például a Szomor Mintagazdaság a Kiskunsági Nemzeti Parkban 20 éve végzi a szikes vizes élőhelyek árasztásos rehabilitációját és legeltetési kezelését Apaj-pusztán, amely példaértékű eredményeket szolgáltat a szikes vizes élőhelyek helyreállítására vonatkozóan. Ennek lényege, hogy a vizes élőhely rendszer közvetlen árasztása (440 ha) a Dömsödi-árapasztó csatornán keresztül a Dunából származó vizekkel történik, októbertől márciusig évente kb. 3 millió m³ csatornavíz jut ki az Alsó-Szűnyogirétre, ami nyár közepére nagyrészt elpárolog. Az árasztás hatására közvetlenül kialakult vizes élőhelyek mellett a felszíni vizek gravitációs elszívárgásával és a szikes talajvíz megemelésével közvetetten is hozzájárul a környező szikes vizek helyreállításához. Emellett a terület kezelése magyar szürke marha és bivaly extenzív legeltetésével történik villanypásztoros rendszerben, adaptív állatmennyiséggel, májustól novemberig. A legelő állatoknak nem csak a növényzet kezelésében, hanem a mechanikai hatásukon keresztül – melyben a bivalyok a leghatékonyabbak – a szikesedés szempontjából meghatározó felszíni és talajvíz kapcsolat, valamint a lebegő ásványi anyagok okozta zavarosság fenntartásában is nagy szerepe van. Emellett az ürülék bomlásának biokémiai folyamatai is elősegítik a szikesedést.

A kialakulásukból és működésükből eredően a felszín alatti vizektől függő vizes élőhelyek jól jelzik a talajvízszint süllyedést. Közismert példa erre a Duna-Tisza közti Homokhátságon évtizedekkel ezelőtt bekövetkezett talajvízszint csökkenés, melynek hatására tömegesen tűntek el a homokhátak közötti mélyedésekben előforduló szikes vizek és a lápok a két folyó között. Mint ahogy már utaltam rá, a talajvízszint csökkenés sajnos egyre jobban kiterjed az egész Alföldre (6. ábra), és most már a folyóvölgyekben is érzékelhető, valamint a folyók bevágódása is hozzájárul a fokozódó vízhiányhoz. A folyók vízszintjének süllyedése egyúttal azt is maga után vonja, hogy az árvízi időszakokon kívül már nem lehet számottevő mennyiségű vizet gravitációs úton kivezetni a hajdani árterületekre, ami megnehezíti a vízpótlás megvalósítását. A talajvízszint süllyedés következtében a szikesedési horizontok is lejjebb húzódnak a talajban, ezért a talajok és vizek sziksótartalmának csökkenése tapasztalható. Ezzel egyidejűleg viszont az édes vízű Balatonban éppen ellenkezőleg növekszik a sótartalom (szalinizáció), amit viszont a felszíni vízgyűjtőterületről bemosódó antropogén eredetű szulfát és kloridsók okoznak, mivel a Balaton vízforgalmá-

ban a felszín alatti vizeknek elenyésző a jelentősége. A kontinentális vizek szalinizációja globális jelenség, ami a klímaváltozással egyidejűleg az urbanizációval is szorosan összefügg, melyet a Balaton esete is jól példáz.



6. ábra. Az aktuális talajvízszint eltérése a 30 éves átlagtól Magyarországon.

Forrás: vizugy.hu

Az élőhelyek helyreállításának kérdése különösen aktuális most, mert az Európai Tanács idén elfogadta azt az ún. „természet helyreállításáról” szóló rendeletet, amely nagyon ambiciózus célokat tűzött ki (<https://www.restoration-ecology.hu/a-termeszett-helyreallitasi-rendeletrol/>). A jogszabály célja, hogy 2030-ig megvalósuljon az EU szárazföldi és tengeri területeinek legalább 20%-ának, 2050-ig pedig az összes helyreállításra szoruló ökoszisztémának a helyreállítása! A helyreállítást komplex ökológia hálózatban gondolkodva, tudományos alapon, a hidrogeológiai és hidro-ökológiai sajátosságok figyelembe vételével úgy kellene megtervezni, hogy az fenntartható módon biztosítsa a hidrológiai ciklus megfelelő működését, valamint a vízi és vizes élőhelyek hálózatának felszíni és felszín alatti kapcsolatát a régióban. Mindez csak jelentős földhasználati konverziókkal, a kezelési módok és a vízgazdálkodás jelentős változtatásával érhető el. Az ökológiai vízigény biztosítása érdekében a csapadékra alapozott vízmegőrzés szükséges, de a klímaváltozás hatásai miatt ma már nem elégséges, ezért a lecsapolt ősi ártereken a folyókból történő vízkivezetés is szükséges. Ennek lehetősége gravitációs úton egyre kisebb mennyiségre korlátozódik, ezért az aktív (pl. szivattyúzás) vízpótló rendszerek kiépítésébe is kell gondolkodni, viszont ezt fenntartható módon kell üzemeltetni a megújuló energiával (pl. napenergia).

Az öntözés mezőgazdasági célt szolgál, azonban ez nem keverendő össze az ökológiai célú vízpótlással, mellyel sokszor éppen konkurens, illetve ellentétes vízigényeket keletkeztet. Röviden összegezve a bizonyosságokat és a bizonytalanságokat a vizes élőhelyeink múltját, jelenét és jövőjét illetően a kialakult helyzet aggasztó. Kicsit bővebben nagyon aggasztó! A bizonyosságok egyértelműen negatívak, a klímaváltozás mellett a kedvezőtlen körülmények jelentős része emberi hatás, úgy mint a negatív vízmérleg (tájhasználat és vízfelhasználás), a vízigények további fokozódása, a vizes élőhelyek drasztikus csökkenése (~70–85%). Bizonyos, hogy a vízviisszatartás szükséges, de ma már az is hogy sajnos nem elégséges. Bizonytalanság övezi a klímaváltozás további mértékét és hatásait. Szintén bizonytalan a vízpótlás, leginkább az hogy honnan, hogyan és miből? Bizonytalan, hogy a további gazdasági növekedés fokozása, valamint a sokszínű társadalmi igények mit eredményeznek. A vizes élőhelyek helyreállítása jelentősen hozzájárulna a vízhiány és a klímaváltozás negatív hatásainak enyhítéséhez, amire az EU természet-helyreállítási terv egy jó aktuális lehetőség, de ehhez jelentős földhasználati konverziókra és víztakarékos tájhasználatra, technológiákra és életmódra is szükség van. A vízprobléma kezeléséhez szükséges szemléletmód váltást az intenzív környezeti változások előbb-utóbb kikényszerítik, ha előbb jobb, utóbb viszont egyre nagyobb környezeti, gazdasági és társadalmi károkkal kell számolni, melyeket már most is érzékelhetünk!

Hivatkozott irodalom

- Boros E. és Vörös L. (2024): How Can Unique Alkaline Soda Waters Be Managed and Restored? Lake Neusiedl as the Largest Threatened European Example. *Ecology*, e2738. <https://doi.org/10.1002/eco.2738>
- Boros E., Ecsedi Z., Oláh J. (eds) (2013): *Ecology and Management of Soda Pans in the Carpathian Basin* Hortobágy Environmental Association, Balmazújváros. p. 551 (ISBN: 9789630894715 OSZK)
- Dévai Gy. (2018): A vizes élőhelyek típusai, sajátosságai és megőrzésük lehetőségei. *Debreceni Szemle* XXVI/4: 381–414.
- Hegedűs J.N. (1788): *Mappa Situationem Inclyti Comitatus Soproniensis cum omnibus eidem ingremiatis Urbibus, Oppidis, ac Possessionibus, non fecus Fluvius, Rivulis, Vüs Postalibus et Commercialibus, in üsdém que designates stationibus exhibens.* ca. 1:111,550, Országos Széchényi Könyvtár, TK 1614, <http://maps.hungaricana.hu/hu/1612>
- Mádlné Szőnyi J. (szerk.) (2013): *Hidrogeológia. Egyetemi Jegyzet.* Eötvös Loránd Tudományegyetem.
- Tóth J. (1999): Groundwater as a geologic agent: an overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeol J.* 7, 1–14.

Kincses víz – vízkins. A gyógyvíz hatására kialakult panaszmentesség bizonyos, vagy bizonyítani kell?

Bergmann Annamária

Hévízi Szent András Reumakórház és Gyógyfürdő, Hévíz

bergmanna54@gmail.com



1. kép. A víz, mint természeti kincs

A 2001-ben kiadott bélyegen a Víz a Földet szimbolizáló kincses ládába, illetve a Víz ékszerdobozba zárva látható. A víz kincs, ezen belül a gyógyvíz is nagy kincs.

A Hévízi-tó az egyik legjelentősebb gyógyfürdő hazánkban. Ám sok gyógyfürdő mondhatja magát jelentősnek.

Az I. világháború után, a trianoni békediktátummal egyharmadára csökkentett Magyarország ásványi anyagokban, városi kultúrájában, **fürdőhelyeiben** a legjelentősebb területeit veszítette el.

Hazánkban 1913-ban 224 gyógyfürdő működött, a trianoni békekötést követően ebből – egy 1926-os adat szerint – mindössze 63 maradt.

Az ásványi kincsek keresése során, mintegy a **szénhidrogén bányászat melléktermékeként**, törtek föl a meleg vizes források.

Hogy a meleg vizeknek jótékony hatása van, azt sok helyen, az ott élő emberek észlelték, fedezték fel. (A cserkeszőlői határban, a szőlőkben feltört kis forrásokban áztatták lábaikat a szőlőmunkások, és észrevették, hogy lábfájdalmuk enyhült.) A 30-as évektől feltárt közel 1300 kút közül közel 250 helyen fürdő, gyógyfürdő, wellness létesült.

A gyógyfürdő, gyógyvíz fogalmával vigyázni kell. Ha vízzel gyógyítunk, az hidroterápia. Ha gyógyvízzel gyógyítunk, az balneoterápia.

Mi a **gyógyvíz** fogalma? Gyógyvíznek azokat az ásványvizeket nevezzük, amelyek az egészségügyi törvényrendeletben szabályozott fizikai tulajdonságai, illetve kémiai összetételük szerint gyógyhatásúnak minősülnek.

Magyarországon 99 minősített gyógyfürdő és 5 gyógybarlang van. 2 településen van gyógygáz, illetve 5 hazai település rendelkezik minősített gyógyiszappal;

- az elismert gyógyvizek jegyzéke 270 különböző gyógyvizet tartalmaz;

- jelenleg 32 település rendelkezik gyógyhely minősítéssel;

- a 40 gyógyszállóban éves szinten 2,5 millió vendégéjszakát töltenek el a vendégek.

Ezen vízkincsnek, gyógyászati kincsnek óriási gazdasági értéke is van.

Az egyedülálló természeti erőforrásoknak köszönhetően, hazai és nemzetközi szinten is nagy népszerűségnek örvendenek a gyógyfürdők, a klímaterápiára alkalmas barlangok, illetve gyógykezelések.

A turizmus ágazaton belül kiemelkedő szerepet játszik hazánkban az **egészségturizmus**.

Az egészségturizmus az egészségi állapot fenntartása, illetve annak javítása érdekében történő utazást, és az azzal kapcsolatban igénybe vett szolgáltatások összességét jelenti. Hazánkban három jelentős területet különböztetünk meg: a terápiás jellegű gyógyturizmust, a közkedvelt wellness-turizmust, és az egyre nagyobb nemzetgazdasági jelentőséggel bíró orvosi turizmust.

Gyógyfürdőink pedig Debrecentől Cserkeszőlőig, Hegykőtől Pusztaszentlászlóig alkalmasak a mozgásszervi, nőgyógyászati, bőrgyógyászati betegségek prevenciójára, gyógyítására.

Nem szeretnék minden fürdőről beszélni. Önző módon a Hévízi-tó jótekonny hatásának meglétéről kívánok beszámolni.

Bizonyos, hogy jó hatású?

Náray Szabó Gyula, 1927-ben jegyezte föl Alsópáhokról az alábbi szájhagyományt:

„Öreg koldus lakott a vidéken. Magányosan tengődött nyomorúságos viskójában. Nem volt senkije. Alig tudott vánszorogni. Testét különösen undok fekélyek lepték el. Az emberek szánakozó borzalommal fordultak el tőle. A kenyérdarabokat is csak távolról dobálták neki. A tehetetlen agg egész nyáron át a Hévíz kifolyójában áztatta testét. És mire a fecskék elrepültek, meggyógyult. A nép addig csak meleg pocsoljának hitte a tavat, de ez után az eset után már gyógyító víznek.” (1)

Hihetünk-e a legendának?

A legenda valóságos hatását igazolták a XX. század közepén végzett mikrobiológiai vizsgálatok, melyek részletesen kiderítették, hogy milyen mikroorganizmusok élnek a tóban.

Vajon ez elegendő bizonyíték?

A tőzegmedrű tó és víz speciális igényű szervezetek élőhelye, melyeknek rendkívül fontos szerepe van a víz gyógyhatásának kialakításában. A víz élő parányi gömb alakú sejtjeikben ként felhalmozó kénbaktériumok (*Beggiatoa*) fontos szerepet játszanak a tó kénanyagcseréjében (kénoxidálók és szulfátredukálók). Az itt élő természetes baktériumtörzsek (*Micromonospora*, *Streptomyces*) felelősek a víz természetes antibiotikus, fertőtlenítő hatásáért. (2)

Az ember, a tudós ember mindig kíváncsi. Olyan, mint az érdeklődő kisgyerek. Mindig azt kérdezi: Miért? És az örök kétkedés, az örök kíváncsiság viszi előre a megismerésben.

Dr. Zsrai Kálmán laboratóriumi orvosként, kórházunkban állatkísérleteket folytatott. Nagyon érdekelte, hogy a fentebb leírt öreg koldusról szóló legenda igaz lehet-e, **van-e sebgyógyító hatása a tónak?**

Az 1970-es években ő és a Keszthelyi kórház Patológiájának főorvosa, Dr. Krutsay Miklós, patkányokon végzett kísérletekkel próbálta igazolni, immár tudományos igénnyel, a tó sebgyógyító hatását. Hosszas kutatásukat 1972-ben a Reumatologia Balneologia Allergologia szaklapban megjelentették.

Zsrai Kálmán, Strecker Ottó, Krutsay Miklós: A hévízi iszap hatása a sebgyógyulásra (1972)

„A hévízi iszappal évtizedek óta végzett gyógykezelések során sohasem lehetett tapasztalni olyan jelenséget, amely miatt kisebb-nagyobb nyílt seb jelenléte esetén különösebb óvatosságra lenne szükség. Ennek magyarázatára már korábban választ kaptak a kollégák kísérleteikben. Empirikus megfigyelések szerint a lábszárfeleképek előnyösen reagálnak a gyógyító iszapos öblébe süllyedve történő fürdőzésre.”

Vizsgálataikat egészséges fehér patkányokon végezték. A kísérletre felhasznált állataik száma összesen 114 volt. Iszapkezeléshez mindig friss, használatra kész iszapot használtak. Legelőször is meghatározták a művielt ejtett két sebféleség – vágott és roncsolt – gyógyulásának időtartamát iszapkezelés hatása alatt és anélkül.

Az iszappal kezelt, vágott sebek 7-8 nap alatt gyógyultak. A kontroll csoportnál pedig 8-11 nap alatt. Az iszappal kezeltéknél a sebgyógyulás átlagban két nappal előbb következett be.

A roncsolt sebek gyógyulási ideje hosszabb volt három négy nappal, és még kifejezőbb volt az iszap-kezeltek és a kontroll csoportok közötti eltérés, amennyiben e csoportban az iszappal kezeltek gyógyulási ideje 3 nappal volt rövidebb. Ezután vizsgálat tárgyává tették azt, hogy egy és ugyanazon idő alatt – esetükben hét nap alatt – milyen mértéket ért el a gyógyulás. Mikroszkópos vizsgálat mellett minden esetben (az állatokat leölve) a seb területéről szövettani metszetet is készítettek.

Kísérleteikkel megállapították, hogy az iszap a sebgyógyulás biológiai fázisa-ira (a seb törmelék eltakarítására és a regenerációra) előnyösen hat. Az iszappal kezelt sebészeti gyógyulása 2-3 nappal előbb következett be, mint a kontrolloké. Az iszapnak a sebgyógyulást elősegítő tulajdonsága úgy vélték, hogy az iszap hiperémizáló, termikus és szorpciós hatásából adódik. E jelenséget a hévízi iszap komplex, összetett jellegének – bioregulációs – hatásának tulajdonították. (3)

Zsirai Kálmán és munkatársai kísérlete, a kontroll csoport alkalmazásával, már előrevetíti a XXI. században megkövetelt, bizonyítékon alapuló orvoslás módszereit.

Nagyon röviden megemlékeznék a történeti előzményekről.

Az első tudományos ismertetés 1769-ben jelent meg Szláby Ferenc, Zala megye orvosdoktora és fizikusa tollából.

Az első tudományos értekezés 1795-ben született, dr. Babocsay József aláírással.

Kitaibel Pál, a Hévízi-tó és a környék vegetációjának első leírója, 1799-ben.

1857-ben végezte Johan Flórián Heller, bécsi tanár a hévízi tó vegyelemzését.

Lovassy Sándor botanikai kísérletei eredményeként 1898-ban nyílt ki az első tündérrózsa, a *Nymphaea rubra longiflora*.



2. kép. *Nymphaea rubra* var. *longiflora* (Hévízi tündérrózsa)

Az iszap kutatása, az 1900-as évek elején, Hankó Vilmos – akadémiai tagnak – jutott először eszébe. Ugyancsak ő, 1908-ban analizálta a vizet.

Szintén az 1900-as évek elején Lóczy Lajos foglalkozott a tó radioaktivitásával.

A XX. század 10-es éveitől nagynevű orvosok dolgoztak Hévízen.

Dr. Schulhof Vilmos nemcsak gyógyító orvosként tevékenykedett, hanem a hévízi gyógyeredményeket feldolgozta tudományos publikációk formájában.

Öccse, Dr. Schulhof Ödön röntgenológusként és fizioterápiás szakorvosként dolgozott.

1932-től Hévíz hivatalos fürdőorvosa Dr. Moll Károly lett. A mozgásszervi betegségek gyógyításának terén jelentős eredményeket ért el. Nagyon sokat tett a hévízi gyógyfürdő fejlesztéséért, az ottani víz gyógyhatásának hazai és nemzetközi megismertetéséért.

Dr. Moll Károly szakmai, tudományos munkásságát egész életében segítette és támogatta felesége, Dr. Hoffman Ilona.

Az itt élő emberek gyógyulásról szóló történetei, majd a XVIII. századtól megkezdett kémiai, fizikai, biológiai vizsgálatok eredményeit tekintve, mondhatjuk, hogy jó hatású a tó vize.

Bizonyos, hogy jó hatású?

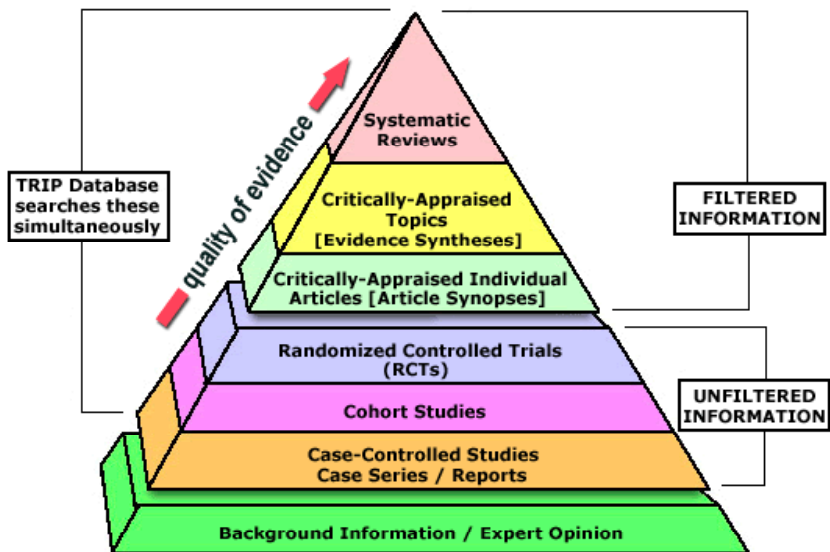
Napjainkban csak akkor biztos a víz gyógyító ereje, ha az, az **Evidence based medicine** (bizonyítékon alapuló orvoslás) kritériumainak megfelel, tehát randomizált, kettős vak, kontrollált, utánkövetéses vizsgálat szabályai szerint igazolják a gyógyhatását.

Az egyre idősödő társadalom generálja a mozgásszervi betegek növekvő számát és egyre jobban felértékelődik az egészség megőrzésének és helyreállításának fontossága.

A prevenció, a kuráció és a rehabilitáció medicinális költségvonzata igen nagy, aminek következtében egyre jobban előtérbe kerül az orvosi terápia negyedik ága: a költséghatékonyabb fizioterápia, melynek a gyógyfürdőkben megvalósuló balneoterápia is részét képezi.

Az orvostudomány minden területén fontos az alkalmazott terápia hatásainak, mellékhatásainak és utóhatásainak ismerete, amit EBM (Evidence Based Medicine)-nek nevez az orvoslás. Így van ez a balneoterápia területén is, ahol egyre nagyobb számban jelennek meg tudományos kutatások.

A napjainkban polgárjogot nyert EBM módszer a Hévízgyógyfürdő és Szent András Reumakórház számára is új kihívást jelent. A kórház a tudományos



EBM Pyramid and EBM Page Generator, Copyright 2006-2014 Trustees of Dartmouth College and Yale University. All Rights Reserved. Produced by Jan Glover, David Izzo, Karen Odato and Lei Wang.

3. kép. Evidence Based Medicine (EBM) piramis

munka minőségi előrelépéséhez felvette a kapcsolatot a Keszthelyi (Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem Georgikon Campus) és a Pécsi (Pécsi Tudományegyetem, Gyógyszerésztudományi Kar) egyetemmel. Utoljára a Győri (Széchenyi István Egyetem) egyetemmel is.

A gyógyszeriparban könnyű ezen feltételeknek megfelelni. Fehér tabletta hatóanyaggal, fehér tabletta placebóként.

De a tó vizsgálata nem lehet kettős vak. Az EBM nagyon jó, de más a gyógyszerhatás bizonyítása, mint egy természeti jelenségé.

A gyógyvizeink elismertetéséhez, elfogadtatásához eleget kell tennünk az EBM követelményeinek. Ez 2015 óta különösen fontos, amikor is a Hévízi gyógyvízre alapozott kúrát, a gyógyiszap és súlyfürdő kezeléssel együtt, Hévízi Tradicionális Kúrává nyilvánították. A Hévízi Tradicionális Kúra, és maga a Hévízi-tó szintén 2015-ben megkapta a Hungarikum címet.

A Hévízi-tó természeti képződmény. Bármikor változhatnak a paraméterei (forrás vízhozama, víz hőmérséklete, a tó áramlási viszonyai).



4. kép. A Hévízi-tó

A tó fizikai, kémiai, biológiai tulajdonságainak lehetséges változása megfelel a tudományos bizonytalanságnak.

A természettudományban a tudományos bizonytalanság kiküszöbölhetetlen. A természeti tényezők változása miatt tíz évenként el kell végezni a gyógyvízzé nyilvánítás vizsgálatát.

Hogy a tó gyógyhatása a mai napig is érvényes, ezt tíz évenként bizonyítani kell A tó gyógyvízzé való nyilvánításának vizsgálatait 2002-ben **Dr. Horváth Anna** és munkatársai, 2012-ben **Dr. Kulisch Ágota** és munkatársai végezték el.

Dr. Kulisch Ágota és mts-i: *A Hévízi-tó termál-ásványvizének vizsgálata primér térdarthrosisban szenvedő betegeken (randomizált, kontrollált, egyszeresen vak, utánkövetéses vizsgálat (2012)*

A vizsgálat rövid ismertetése:

Gyógyvízzé nyilvánítási humán kutatás Hévíz 2012

A vizsgálat célja:

A Hévízi-tó termál-ásványvíz terápiás hatásának vizsgálata és dokumentálása enyhe és közepes súlyos térdarthrosisban szenvedő betegeken, a terápiás effektus összehasonlítása a kontrollként használt, felmelegített csapvizet kezelésben részesülő csoporttal.

Megbeszélés:

„A Hévízi-tó termál-ásványvizének vizsgálatára, az empirikusan ismert gyógyhatás klinikai vizsgálatlalt történő igazolására, primer térdarthrosisban

szenvedő betegek bevonásával randomizált, kontrollált, egyszeresen vak, utánkövetéses vizsgálatot végeztek.

A vizsgálatba beválogatott személyeket két csoportra randomizálták. A Hévízi-tó fedett részében történő termál-ásványvizes ülfürdő kezelés, és hőmérsékletében azonos csapvizes medencefürdő kezelés történt 3 héten keresztül naponta 30-30 percen át.

Vizsgált paraméterek:

térd funkció (hajlás), térd körfogat, járássebesség, vizuális analóg skála, WOMAC index (neves szakemberek által összeállított, hitelesített kérdőív) három paraméterrel (fájdalom, ízületi merevség, fizikai funkció).

A statisztikai feldolgozás alapján a kapott eredmények tükrözik a termálvízzel kezelt csoportban észlelt, a kontrollcsoporthoz viszonyított több vizsgált paraméterben megmutatkozó jelentősebb javulást. A különbségeket egyértelműen a termál-ásványvizes pozitív élettani, biológiai, terápiás hatásával lehet magyarázni. A csapvízzel történt kezelés során szintén dokumentálhattak pozitív élettani változást, ami hatásában és tartósságában elmaradt a termál-ásványvízzel történt kezeléshez képest.

A humán orvosi vizsgálat során a Hévízi-tó termál ásványvize jelentősen javította a térdarthrosisban szenvedő betegek szubjektív és objektív paramétereit, kedvezően befolyásolta a betegek életminőségét.

A vizsgált termál-ásványvíz orvos-szakmai alkalmassága, a vizsgálat során dokumentált pozitív hatásai miatt, illetve a kontrollcsoporthoz viszonyított több paraméterben szignifikánsan nagyobb mértékű javulást eredményező terápiás hatása, teljes egészében megfelel a gyógyvízzé nyilvánítás elvárásainak.” (4)

Az elkészített kutatási anyag alapján a tó a gyógyvíz minősítését az elkövetkezendő tíz évre megkapta.

Az 1980-as években az iszap kutatások irányítója Dr. Gyarmati József főorvos volt.

Tőle idézve egy kis történeti áttekintés az iszapkutatásról:

„1931-ben alakult meg az International Society of Medical Hydrology (ISMH = Nemzetközi Orvosi Hidrológiai Társaság), és 1938-ban adta ki híres Jelentés c. művét, melyben egységes irányelveket határozott meg az iszapok minősítésére. Több évtizedes kooperáció eredményeképpen 1969-ban alakult meg az International Peat Society (IPS = Nemzetközi Láp-és Tőzegetársaság), Helsinkiben, hat munkabizottsága közül egy a tőzegek orvosbalneológiai témájával foglalkozik. E szekció részint önállóan, részint más szekciókkal közösen, rendszeresen tart nemzetközi kongresszust (1981: Bad Elster, 1982: Minszk, 1985: Bad Alexandersbad).”

„Az IPS mellett, azzal szoros kapcsolatban működött a KGST III/8-as munkabizottsága („A lápok okszerű hasznosítása és védelme a tájban”) az Egészségügyi Kormánybizottságon keresztül tulajdonképpen Magyarország (Hévíz) feladata, az iszap a medicinában témakör vizsgálata volt.”

„Nemzetközi szinten nézve a vizsgálatokat, megállapítható, hogy jelentős eredményeket felmutatni abban a témában lehet, ahol a feladatkörre centrált kutatóintézet, vagy a téma iránt érdeklődő országos intézet működik.” (5)

„1986-ig a tó medréből emelték ki az iszapot, és ezzel történtek a gyógykezelések. A gyógykezelések során, leggyakrabban a mozgásszervi megbetegedések gyógyítására használják az iszapot, mint például a degeneratív (kopásos) mozgásszervi betegségek, a lágyrész-reumatizmusok (inak, izmok, nyáktömlők betegségei), az ízületi zsugorodások kezelésére, sérülések utókezelésére, de emellett jó hatású az idült gyulladásos nőgyógyászati betegségek, illetve bizonyos bőrgyógyászati betegségek (pl. pikkelysömör) kezelésében is.” (6)

2012-ben a kórházban **Dr. Gyarmati Noémi** és munkatársai tanulmányt állítottak össze a gyógyiszap hatásának igazolására. A 2013-ban elkészült, és a Balneológiai kongresszuson előadott study a kor minden igényét kielégítő, precíz kutatás, mely megkapta az engedélyt, egy angol szaklapban való megjelenésre. Az EBM szabályait teljesen követő study összefoglalójából idézve:

Gyarmati Noémi és mts-i: A hévízi gyógyiszap hatásának vizsgálata kézarthrosisban szenvedő betegekben (randomizált kontrollált utánekvetéses, egyszeresen vak vizsgálat) (2012)

Cél:

A kéz osteoarthritisének nem gyógyszeres kezelése között a hőterápia az egyik legkedveltebb eljárás. A peloid orvosi alkalmazása a természeti gyógytényezőkben gazdag országokban szerves részét képezi a fizioterápiás eljárásoknak.

Módszer:

A vizsgálatban 46 kézarthrosisban szenvedő beteg vett részt, akiket randomizáltan két csoportba osztottak. Az I. csoport betegei (23) mindkét kezükre közvetlenül iszapot kaptak, míg a kontroll csoport betegei (24) mindkét kezükre nylonrétegen keresztül kapták az iszapot, heti 5 alkalommal, 3 héten át. Az iszap hőfoka 42 Celsius fok volt, egy kezelés 20 percig tartott.

Vizsgált paraméterek:

vizuális analóg skála, kéz szorítóereje mindkét oldalon, duzzadt ízületek száma mindkét oldalon, nyomásérzékenység mindkét oldalon, reggeli ízületi merevség időtartama, HAQ funkcionális index (hitelesített kérdőív), EQ-5D (az egészséggel kapcsolatos életminőség általános mérésére szolgáló önkitaltós kérdőív)

Eredmény:

A két csoportban majdnem minden paraméter javult mind a kezelés végén, mind a 16 hét elteltével. A két csoportban kialakult javulás szignifikánsan (jelentősen) nagyobb volt a direkt iszappal kezelt csoportban a 16. héten történt utánkövető vizsgálat során a VAS (vizuális analóg skála) II, a VAS IV paramétereiben.

Következtetés:

Mindezek alapján megállapítható, hogy az iszapkezelés jelentősen javította a kézarthrosisban szenvedő betegek szubjektív és objektív paramétereit, kedvezően befolyásolta a betegek életminőségét.” (7)

2014. májusban, a benyújtott vizsgálatok hatására, a hévízi iszap megkapta a gyógyiszap minősítést.

A tradicionális kúra harmadik elemét, a súlyfürdő hatását is vizsgálták.

Dr. Moll Károly a mozgásszervi betegségek gyógyításának terén jelentős eredményeket ért el, nevéhez fűződik a **súlyfürdő** gyógy mód kifejlesztése.

Moll Károly is leírta tudományos közleményekben gyógyító megfigyeléseit.

Hogyan vizsgálta Dr. Moll Károly a tó tulajdonságait?

Moll Károly úgy ismerte a tavat, mint a tenyerét. Maga is rendszeresen, szinte naponta fürdött benne. Vizsgálta a tó hőmérsékletét, a víz vénás keringésre való hatását és ő készítette el a tóról az első áramlási térképet. Felesége Dr. Hoffmann Ilona elbeszéléséből tudjuk, hogy az áramlási térkép speciális módon készült. A főorvos úr készítetett egy tutajt, erre ültette feleségét, s a tutaj mozgásából következtetett az áramlási viszonyokra. (8)

A súlyfürdő kezelést is a leleményesség szülte.

Tekintettel arra, hogy a Hévízi-tó vize mély, ezért a tavon sok kapaszkodót alakítottak ki a biztonságos fürdőzés érdekében, hogy a betegek úszás közben megpihenhessenek. A betegek pedig akkortájt sem tartották be az előírt fürdési időt, és a kapaszkodókon a pár perces pihenés helyett hosszan függeszkedve jókat beszélgettek. Eközben azt vették észre, hogy fájdalmuk enyhül, amiről beszámoltak a kezelőorvosuknak, Moll Károlynak. A súlyfürdő eszközének gondolata egy tavaszi reggelen született meg 1953-ban, egy **tutajkaloda** formájában.

„1952. második felétől kezdve a beutaltak egy szokatlan kalodát látnak lebegni a tó tükreán. Ez az ún. súlyfürdő, amelyben a beteg egy kibélelt fagyűrűben állkapcsára és tarkójára támaszkodva lóg a vízben. A derekára kapcsolt vászonnövön pedig két vagy több súly lóg a rendelés szerint 30 kg-ig.” (9)



5. kép. Tutajkaloda, a ma alkalmazott súlyfürdő kezelés őse

A súlyfürdő a – csigolyákat egymástól eltávolítva – lehetőséget nyújt a ki-domborodó kocsonyás anyag visszahúzóódására és ezáltal a szétrepedt porclemez gyógyulására. A súlyfürdő máris számos beteget mentett meg az operációtól. Természetesen ezt a kezelési módszert nemcsak a porckorongsérvnél használjuk igen jó eredménnyel, hanem a gerincoszlop egyéb megbetegedéseinél is.” (10)

Napjainkban – hiába az empiria pozitív tapasztalatai – egy kezelés csak akkor elfogadott, ha az EBM szabályai szerint igazolták annak hatásosságát. Dr. Bene Éva, Kuruczné Kovács Mártával, éveken át végzett kutatása nagyban segítette a hatékonyság igazolását.

A súlyfürdő hatásának vizsgálatára alakult orvosokból és mérnökökből álló kutatócsoport, amely két egymással összefüggő OTKA-pályázat (Országos Tudományos Kutatási Alapprogram) támogatásával tisztázta a súlyfürdő kezelés biomechanikai vonatkozásait.

A kutatás első szakaszában a súlyfürdő terápia kísérleti vizsgálatának elméleti előkészítésére, a mérési módszer kidolgozására és kipróbálására, majd a nyúlás mérések lebonyolítására került sor.

A második kutatási szakaszban befejeződtek a nyúlásmérések a súlyfürdőben, és elkészült a lumbális gerinc szegmentumok és porckorongok kísérleteken alapuló numerikus modellje, majd a súlyfürdő terápia numerikus szimulációjára került sor. (11)

Szintén az EMB szempontjait szolgálják Végh György Hévízen végzett mérései. Végh György gyógymasszőrként napi 50-80 súlyfürdőkezelést adott, s munkája során az elmúlt 20 évben precíz méréseket végzett. Figyelte és mérte a súlyfürdőkezelésben résztvevő anatómiai képletek mechanikai tulajdonságait, és azok szerepét a trakciós erőviselésben. Másik munkájában figyelte a saját súllyal történő nyaki súlyfürdőkezelésnél fellépő húzóerőt és a húzóerőt befolyásoló fizikai tényezőket. Mindkét munkája már korábban a balneológiai szaklapban megjelent.

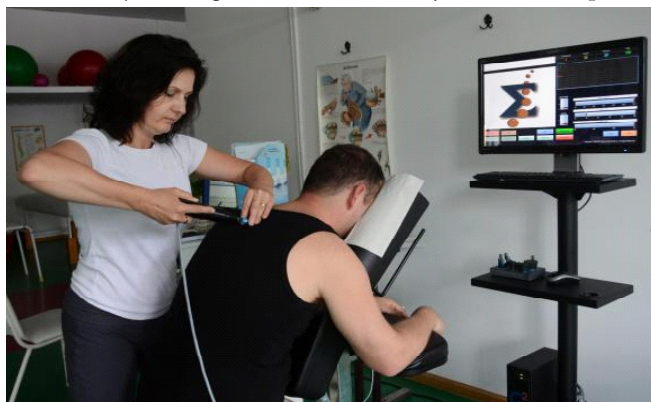
Az első kontrollált klinikai vizsgálat pár éve befejeződött Hajdúszoboszló, Debrecenben. Oláh Mihály és munkacsoportja vizsgálta a súlyfürdő kezelés hatékonyságát discopathiás betegeken. Az EBM kritériumainak maximálisan megfelelő munka újszerűsége abban volt, hogy MR diagnosztikát végeztek a kezelés előtt, ill. 3 hónap múlva. Ezen munka 2008. januárjában angol nyelvű (Rheumatology International Journal-ban) szaklapban, is megjelent.

2012-2013-ban a kórházban, még egy nagy jelentőségű study megvalósítására került sor. A Moll Károly által – 1952-ben – bevezett súlyfürdő alkalmazása széleskörűen elterjedt az országban.

Ám a súlyfürdő pozitív hatásáról csak a betegek tapasztalatai alapján tudtunk.

(Gyarmati főorvos szerint, ha egy kezelésről 60 éven keresztül a betegek jót mondanak, sőt kéri a kezelés kiírását, alkalmazását, az nem lehet rossz, vagy hatástalan kezelés.)

Mindenesetre a kórház igyekszik eleget tenni a kor követelményeinek, így Bergmann és munkatársai elvégezték a súlyfürdő jótékony hatását igazoló study-t. A tanulmány megjelenését segítette, hogy a kórház időközben vásárolt egy készüléket – spineliner diagnosztikus és terápiás készüléket – melynek képi ábráival objektíve igazolni lehetett a súlyfürdőkezelés pozitív hatását.



6. kép. Spineliner készülék működés közben (saját kép)

Dr. Bergmann Annamária és mts-i: *A súlyfürdőkezelés hatékonyságának igazolása derékfájdalom esetében a Hévízen kezelt betegeknél (Randomizált, egyszeres vak, utánkövetéses, csoport kontrollos vizsgálat) (2013)*

Idézve az előadás összefoglalóját:

„Cél:

Az Evidence-Based Medicine szabályainak megfelelő vizsgálat végzése a súlyfürdő kezelés hatékonyságának igazolására, enyhe és közepes derék fájdalomban szenvedő betegeken.

A vizsgálat jellege:

Az értékelés szempontjából randomizált, egyszeres vak, utánkövetéses, csoport kontrollos vizsgálatot végeztek a szerzők.

Alkalmazott módszerek:

testmagasságmérés, gerinc előrehajlás (föld-ujjbegy távolság), gerinc oldal irányú mozgása, lumbális gerinc hajlása (Schober II.), vizuális analóg skála, Oswestry derékfájdás index, EQ-5D életminőség kérdőív. (Ez utóbbi kettő nemzetközileg elfogadott, validált, hitelesített, rangos szakemberek által összeállított kérdőív.)

A mozgást jelző paraméterek és az életminőség indexek mellett szerzők külön hangsúlyt helyeztek a Spineliner készülék által mért adatokra. A Spineliner rendszert a FDA (Federal Drug Administration) I. osztályú eszközként regisztrálta a gerinc szegmentumok vizsgálatára. A Spineliner objektív módszer az ízületek, izmok merevségének vagy rugalmasságának mérésére.

Eredmények:

Az elvégzett súlyfürdőkúra után közvetlenül végzett, majd a kúra után 3 hónappal történt orvosi vizsgálat szinte minden paraméternél javulást, több paraméternél szignifikáns javulást igazolt. A Spineliner készülékkel mért értékek egyértelmű javulást igazoltak.

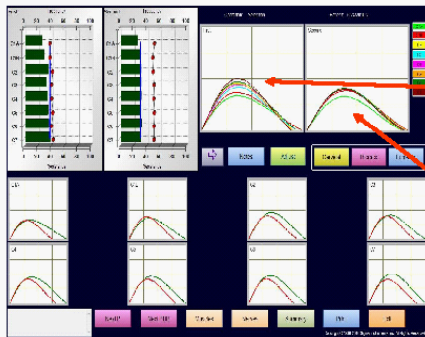
A Spineliner (Pro Adjuster) önmagában egy számítógéphez kötött processzor egység, ami egy piezo-elektromos kalapáccsal rendelkezik. A processzor által vezérelt kalapács különböző erősségű és frekvenciájú ütéseket, ill. ütéssorozatokat képes produkálni.

A vizsgálat során a kalapács kis kopogást, ütögetést bocsát a csigolyák ízületi részére. Ennek mechanikus visszhangját a készülék fél sinus hullám formájában a számítógép képernyőjén ábrázolja. A hullám formájából, magasságából és hosszából lehet megállapítani a vizsgált szegmentum állapotát.

A készülékkel az aktuális izomfeszültségi pontokat, az izomzatban lévő frekvencia különbségeket lehet mérni. A hullám csúcs amplitúdója az egyes gerinc szelvények merevségét, vagy rugalmasságát jelzi. A hullám alakja elemezhető az

Waveform Analysis

Harmonic Balance is the uniformity of movement of a system.



Loss of harmonic balance equals loss of **function**.
(Non-uniform waves = Treat)

Restoration of balance equals **correction**.
(Uniform waves = you're done)

Measurable functional outcomes justify treatment.



Copyright © 2011 Sigma Instruments Inc.

7. kép. A spineliner készülék mérési hibája.

izomgörcs-vagy szövetállapot szempontjából. Az elektronikus hullám alakot a készülék a csúcs amplitudó, csúcsidő, növekedési idő és frekvencia szempontjából elemzi.

Következtetés:

„A Dr. Moll Károly által 1953-ban bevezetett súlyfürdőkezelésről a betegek javulásának mértéke eddig is megmutatta annak jó hatását; az EBM szabályai szerint elvégzett vizsgálat az empiria megfigyelését tényszerűen igazolta.” (12)

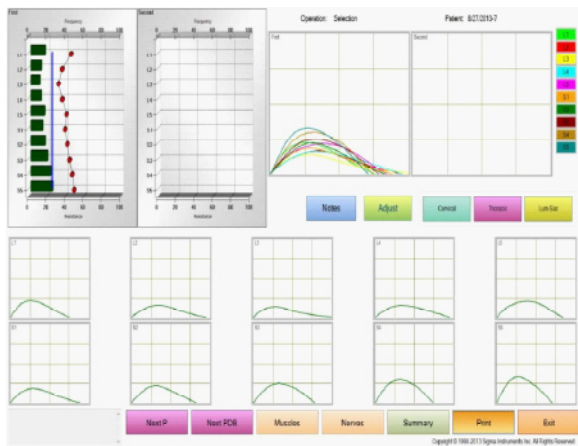
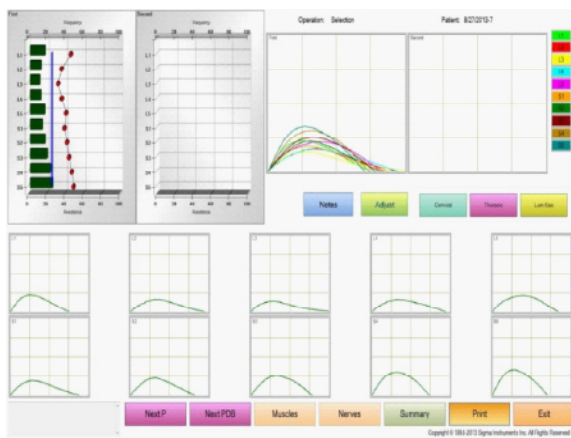
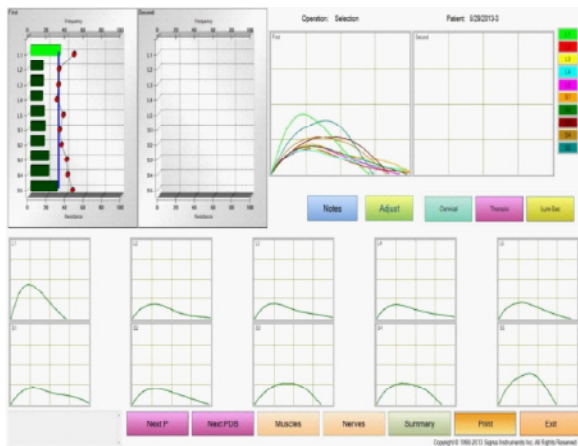
A study eredményeiről 2013-ban a szerzők a balneológiai kongresszuson számoltak be.

Ezen objektív adatok birtokában fogadja el a gazdasági világ a gyógyhatás objektivitását.

Igyekszünk a többi gyógyászati eszköz hatását is igazolni.

A Hévízi Tradicionális gyógyászat elemeinek EBM kritérium szerinti vizsgálata megtörtént, így a feltett kérdésre, miszerint: **bizonyos, hogy a tó jó hatású?**

A válasz: igen.



8. kép. Vizsgálati görbe saját méréseink közül (kezelés előtt, kezelés végén, három hónappal a kezelés után)

Irodalom

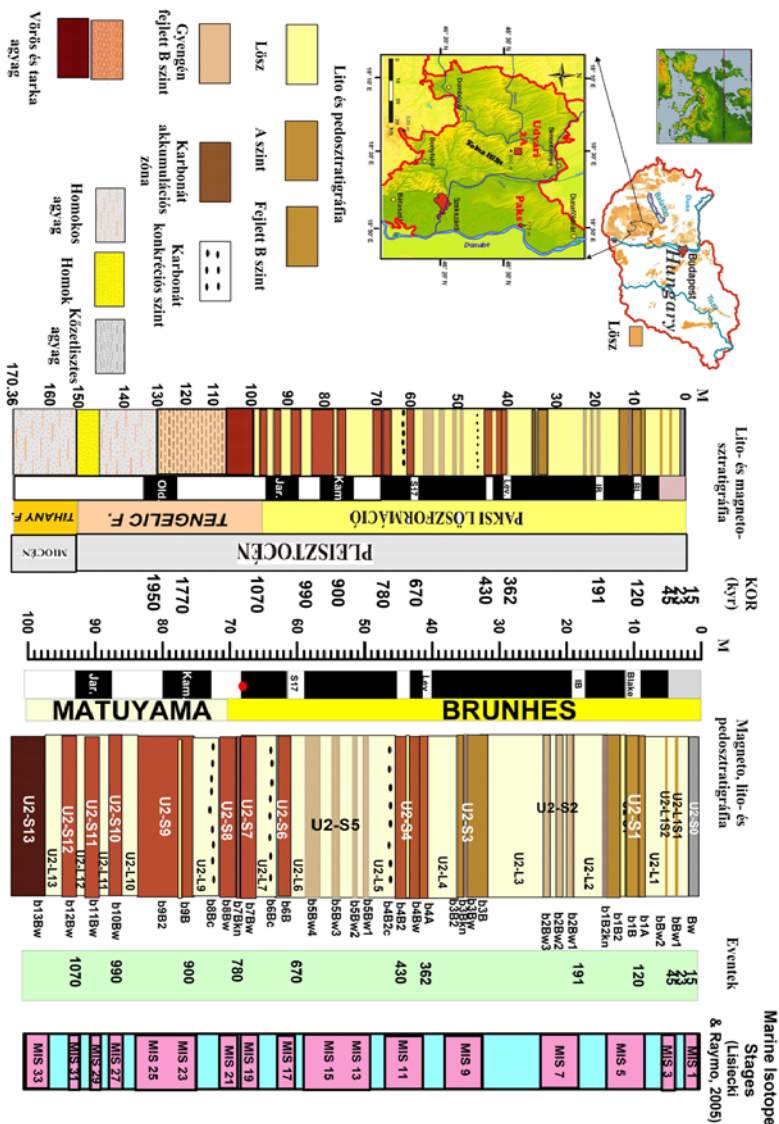
- (1) Náray Szabó Gyula: Hévízi mozaik karcolatok Hévíz monográfia, 1927, 55.p.
- (2) Hévízi gyógymódok (Szerk.: dr. Bergmann A.) SpringMed Kiadó, 2014, 36.p.
- (3) Zsirai, Strecker, Krutsay: A hévízi iszap hatása a sebgyógyulásra Reumatologia Balneologia Allergologia XIII. 1972, 40-44.p.
- (4) Kulisch Á, Benkő Á, Bergmann A, Gyarmati N, Horváth J, Kránitz Á, Mándó Zs, Matán Á, Németh A, Szakál E, Szántó D, Szekeres L, Bender T.: Evaluation of the effect of Lake Hévíz thermal mineral water in patients with osteoarthritis of the knee: a randomized, controlled, single-blind, follow-up study. Eur J Phys Rehabil Med. 2014 Aug;50/4:373-81.
- (5) Gyarmati József: A hévízi iszapkutató Balneológia Rehabilitáció Gyógyfürdőügy, II. évfolyam 2.szám 1981, 111-113.p.
- (6) Gyarmati József: A hévízi iszapkutató Balneológia, Rehabilitáció Gyógyfürdőügy, II. évfolyam 2.szám 1981, 113-115.p.
- (7) Gyarmati Noémi, Kulisch Ágota, Németh András, Bergmann Annamária, Horváth József, Mándó Zsuzsanna, Matán Ágnes, Szakál Erika, Sasné Péter Tímea, Szántó Dóra, Bender Tamás: A hévízi gyógyiszap hatásának vizsgálata kézartrosisban szenvedő betegekben (randomizált, kontrollált, utánkövetéses, egyszeresen vak vizsgálat)
- (8) Moll Károlyné dr. Hoffmann Ilona elbeszélése alapján
- (9) Moll Károly: II. Hévízi Orvosi Archivum
- (10) Hévízi gyógymódok (Szerk.: dr. Bergmann A.) SpringMed Kiadó, 2014, 71-73.p.
- (11) Kurucz Márta: A súlyfürdő biomechanikája (előadás)
- (12) Bergmann Annamária, Végh György, Gyarmati N, Kulisch Á, Benkő Á, Horváth J, Kertai S, Völgyi B, Kovács E, Menyhárt Cs, Varga T, Mándó Zs, Varga Z, Becse T, Bender T. A súlyfürdőkezelés hatékonyságának igazolása derékfájdalom esetében a Hévízen kezelt betegeknel

Mítosz vagy valóság? A globális éghajlati változásról negyedidőszaki geológiai és őslénytani adatok alapján

Sümeqi Pál

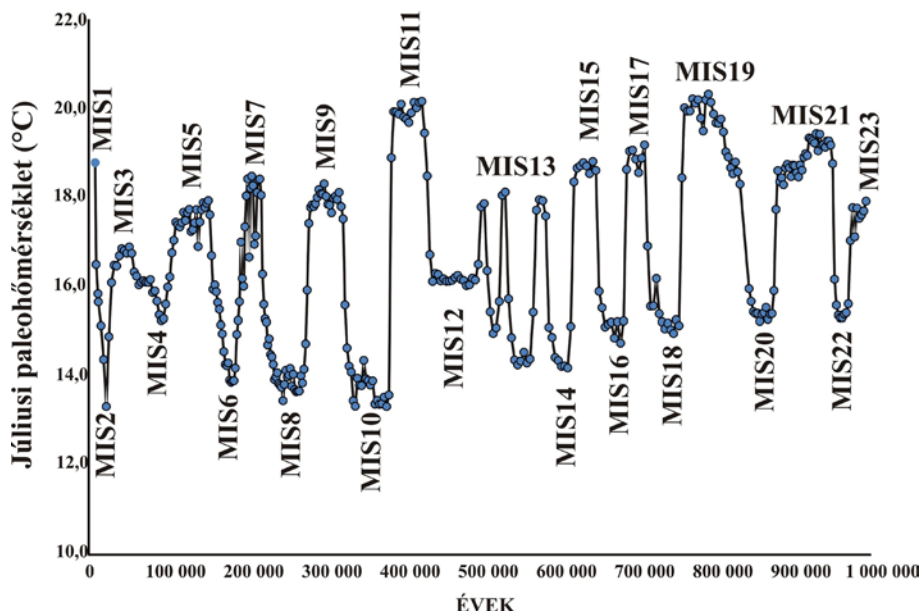
Szegedi Tudományegyetem, Földtani és Őslénytani Tanszék, Szeged

sumegi@geo.u-szeged.hu



Az előadásban és publikációban, az Európában egyedülálló, de globális szinten is csak a kínai, több százezer évre visszamenő löszrétegek - fosszilis talajok sorozatából álló, globális alapszelvényekkel (Louchuan, Chanwu, Xifeng) összevethető udvari fúrás anyagát mutatnánk be.

Az udvari fúrás 170,36 méterig hatolt le, de a felső, 1,1/1,2 millió évig visszamenő 97 méter (1. ábra) tartalmazza a negyedidőszaki éghajlati változások megértése szempontjából alapvető, Európában unikális alsó pleisztocén korig visszanyúló interglaciális/glaciális fosszilis talaj és löszös réteg ciklusokat. A teljes szelvény (és különösen a negyedidőszakra vonatkozó szelvényrészénél) a geokronológiai vizsgálatokat és értelmezést Márton Péter, a több, mint 89 éves geofizikus akadémikusunk végezte el, mintegy 25 évvel ezelőtt (Márton, 1998). Az általa kialakított geokronológiai besorolást (Márton, 1998, 2004) fogadtuk el és használtuk fel (Sümegei et al. 2018), bár néhány geokronológiai elemzést magunk is végeztünk a szelvény anyagán (Sümegei et al. 2019).

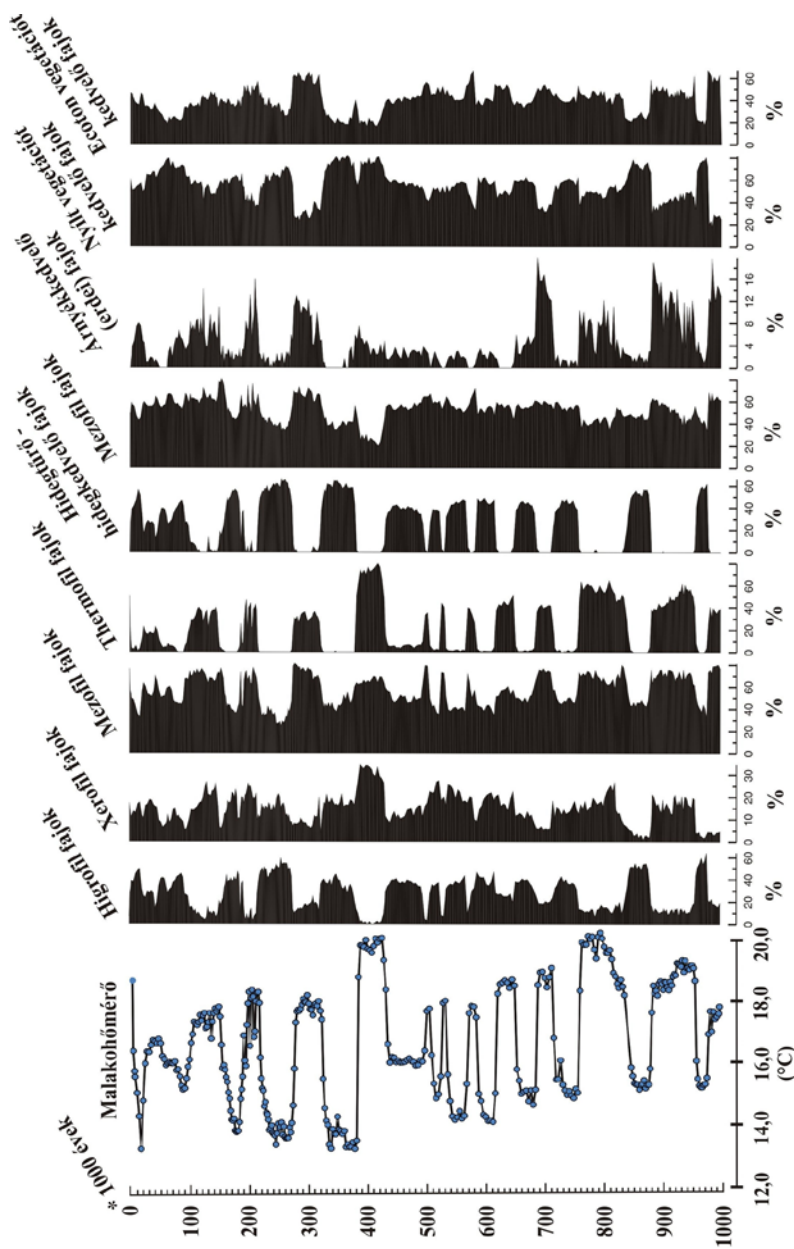


2. ábra. A Kárpát-medencében lejátszódott ciklikus éghajlati változások az udvari fúrás felszínétől 88 méterig tartó, utolsó 1 millió évet átfogó szakaszán malakohőmérő módszerének felhasználásával (Sümegei, 1989, 1996b, 2005, 2007; Sümegei et al. 1991; Hertelendi et al. 1992) – 2500/3000 éves felbontásban (Sümegei, 2021)

A paleoklimatológiai elemzéseket hangsúlyozottan az őslénytani anyagnak minősülő quartermalakológiai anyagra, annak a malakohőmérő értelmezésére (Sümegi, 1989; Sümegi et al. 1991) alapoztuk (2. ábra). Ugyanis az udvari zavartalan magfűrés legfelső, napjainktól megközelítőleg 1 millió évig tartó 88 méteres szakaszából finomrétegtani szabályok figyelembe vételével 25 cm-ként 0,5 dm³ (1,45 kg száraz tömegű) mintákból 91 szárazföldi csigataxon több, mint 45 ezer egyedet nyertük ki. Ezt a rendkívül fajgazdag csigafaunát közel 12 éves vizsgálat alatt dolgoztuk fel – elsősorban Kónya Zoltán szegedi professzor (rektorhelyettes) vezette egyetemi kiválósági program anyagi támogatásával. A hőmérsékleti változások nyomán Cesare Emiliani [1922–1995] által megalapozott Marine Isotope Stage (MIS) szinteket sikerült az utolsó 1 millió évre vonatkozóan lehatárolnunk szárazföldi környezetben (2. ábra). A lehúlések (glaciálisok) során 12–14 °C jelentkezett a júliusok során, míg a legjelentősebb felmelegedések (interglaciálisok) idején, a mai júliusi hőmérséklettel azonos 20 – 22 °C -ot rekonstruálhattunk a malakohőmérő módszerével. Ezekre, a ciklikus 6 – 10 °C közötti júliusi középhőmérsékleti változásokra alapozva, a 100 ezer éves éghajlati ciklusok kiválóan kirajzolódtak (2. ábra). A malakohőmérő változásai alapján 10 interglaciális szintet (MIS5, MIS7, MIS9, MIS11, MIS13, MIS15, MIS17, MIS19, MIS21, MIS23), valamint az utolsó eljegesedés során kifejlődött enyhébb szakaszt (interstadiális: MIS3) és a jelenlegi (holocén = jelenkori), az utolsó 11–12 ezer évre tehető felmelegedést (MIS1) rekonstruálhattuk.

Ugyanakkor az egykori júliusi középhőmérsékletre megadott malakohőmérő adatokat nem szabad abszolutizálni, mivel elsősorban trend jellegű és egyetlen területre jellemző (pontoszerű) eredmények adott, másrészt a fűrés malakológiai értékelhető alsó pleisztocén és kora-középső pleisztocén szakaszán még igen jelentős, mára kihalt taxonokat tartalmazó fauna közösség létezett (3. ábra). A 700 ezer és 1 millió év közötti interglaciális szakaszokra megadott hőmérsékleti értékek ezért inkább minimális egykori júliusi középhőmérsékletnek foghatók fel. Az alsó pleisztocén interglaciálisára megadott értékeknél (19–20 °C) valószínűleg magasabb lehetett az egykori júliusi középhőmérséklet, mivel a recens elterjedésre alapozott malakohőmérőnél figyelembe vehető fajoknál ilyen jelentős időintervallum esetén már figyelembe kell venni az egykori habitat (élőhely) váltásának és a környezeti, közte éghajlati paraméterekkel szembeni érzékenység megváltozásának lehetőségét is (Sümegi, 1989).

A felmelegedések (interglaciálisok, illetve az utolsó glaciálisokat megszakító interstadiálisok) során a legjellegzetesebb, Kárpát-medencéhez köthető változás volt, hogy a xerothermofil elemek domináltak, míg a lehúlések során a higrofil fajok aránya emelkedett meg (3. ábra). A Kárpát-medence éghajlati és malakológiai fejlődése így elkülönült a nyugat-európai (Rousseau & Puisségur, 1990;



Júliusi paleohőmérséklet

3.ábra. A Kárpát-medencében lejátszódott ciklikus éghajlati változások nyomán lejátszódó hőmérsékleti változások, valamint a páratartalmi, hőmérsékleti és növényzeti borítási változásokat visszatükröző csoportok dominanciájának változásai az udvari fűrés felszínétől 88 méterig tartó, utolsó 1 millió évet átfogó szakaszán – 2500/3000 éves felbontásban (Sümei, 2021 nyomán)

Moine, 2014; Limondin-Lozouet et al. 2020), a kínai löszterületek (Rousseau & Wu, 1997; Dong et al. 2021; Zhang et al. 2021), sőt még a közép-európai területként számon tartott Cseh-medencében található (Ložek, 1964, 1965, 1976, 1990) löszterületek malakológiai anyagának fejlődésétől is. Ugyanis ezeken a területeken az interglaciális során a higrofil fajok aránya vált dominánssá és a szárazságkedvelő elemek aránya lecsökkent – mindennek hatására beerdősülés indulhatott meg és a xerofil fajok aránya ezeken a területeken lecsökkent. Viszont a Kárpát-medencében ugyanakkor az interglaciális ciklusok, a fő trendek hasonlósága mellett eltérő malakofaunával jellemezhetőek, és a termofil fajok dominanciájával párhuzamosan a xerofil fajok aránya mellett a mezofil fajok aránya is erőteljesen megnövekedett a legjelentősebb felmelegedések során (3. ábra). A hidegtűrő és hidegkedvelő, valamint a higrofil fajok aránya között szoros, szemmel is látható összefüggést lehetett kimutatni. Alátámasztható vált így az a korábbi felvetés (Sümei, 1989, 1996a,b, 2005, 2007), hogy a hőmérséklet növekedésével járó páratartalom csökkenése, és a hőmérséklet csökkenésével járó páratartalom növekedés alapvetően és ciklusosan átalakította a Kárpát-medence negyedidőszaki teresztis malakofaunáját (3. ábra). Vagyis a hőmérsékleti változás döntően a páratartalom átalakuláson keresztül hathatott a Kárpát-medence negyedidőszaki malakofaunájára. Mozaikos növényzetet rekonstruálhatunk mind a glaciálisok, mind az interglaciálisok szintjében, bár más és más elemek alkotta csoportok tükrözték vissza a mozaikosságot (3. ábra). Az interglaciálisok szintjében jellegzetes facsoportokkal tagolt mérsékeltövi erdőssztyeppet rekonstruálhatunk, míg a glaciálisok szintjében boreális nyitott parkerdőt (Willis et al. 1995, 2000) rajzolhatunk meg. Ez utóbbi esetében a fás szárúak borítása 15% alatti lehetett, sőt a leghidegebb szintekben (stadiálisok során) akár teljes mértékben is visszaszorulhattak a fák (fátlan hideg sztyepp állapot: Sümei et al. 2022). Viszont még a stadiálisok során is fennmaradt ecoton fajok jelentős dominanciája alapján a törpecserjések, és a magasfüvű sztyeppék (magaskórósok) borítása igen jelentős lehetett. Míg az interglaciális során a mérsékeltövi theromezofil fák és sztyepei foltok alkothatták a vegetáció térbeli mozaikosságát, addig a glaciálisok idején a boreális erdőssztyeppéken a fenyőfélék és sztyepe foltok jelentkezhetek párhuzamosan. A geológiai értelemben véve rövid ideig tartó, 1200–1500 éveket átfogó leghidegebb, fátlan szakaszokban cserjefoltokkal tagolt hideg sztyepp lehetett a domináns vegetáció, amelyben a legmélyebb helyzetű részeken, a hidegzugokban foltszerűen megjelenhettek a tundraszerű (prototundra) növényzeti elemek is (Sümei et al. 2020, 2022). Úgy tűnik, hogy a felmelegedések során a páratartalom erőteljes csökkenése, míg a lehűlések során a hőmérséklet csökkenése volt a jellemző és ezért a páratartalom növekedése lehetett a fő környezet-átalakításért felelős tényező a glaciális és interglaciális szakaszokban. A címben önmagunknak is feltett kérdésre válaszolva

egyértelműen megállapítható, hogy csak úgy, mint a rétegtani párhuzamokat alkotó kínai löszszelvényeknél, illetve az szibériai Anadír-platón meteorit becsapódás nyomán kialakuló tavi rendszerben is kimutatható természetes kifejlődésű glaciális és interglaciális ciklusok határolhatók le. S bizony napjainknál jelentősebb júliusi felmelegedések is kimutathatók a szelvényben. Ennek nyomán fel kell készülnünk, hogy a jelenlegi interglaciálisunk elmélyül majd és egy jelentősebb felmelegedés fejlődik ki, amely a jelenleg domináns ipari társadalom fennmaradási lehetőségeit valószínűleg meghaladja majd.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond Dr. Kónya Zoltán professzor és egyetemi rektor-helyettes úrnak az egyetemi kiválóság keretében nyújtott, udvari fúrás feldolgozásához nyújtott anyagi támogatásért.

Irodalom

Dong, Y., Wu, N., Li, F., & Lu, H. (2021): Rapid Northwestward Extension of the East Asian Summer Monsoon Since the Last Deglaciation: Evidence From the Mollusk Record. *Frontiers in Earth Science*, 9, 788738.

Ložek, V. (1964): Quartärmollusken der Tschechoslowakei. *Rozpravy Ústředního ústavu geologického*, 31, 1-374.

Ložek, V. (1965): The relationship between the development of soils and faunas in the warm Quaternary phases. *Anthropozoikum*, 3, 7-51.

Ložek, V. (1976): Klimaabhängige Zyklen der Sedimentation und Bodenbildung während des Quartärs im Lichte malakozoologischer Untersuchungen. *Rozpravy ČSAV, řada matematických a přírodních věd*, 86(8), 1-97.

Ložek, V. (1990): Molluscs in loess, their paleoecological significance and role in geochronology. Principles and methods. *Quaternary International*, 7, 71-79.

Márton, P. (1998): *Jelentés az udvari (U-2A) és a diósberényi (Db-IA) fúrási szelvények paleomágneses méréseinek eredményeiről*. Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 1-49.

Márton, P. (2004): A paleomágneses (földmágneses) időskála. *Magyar Tudomány*, 2004/7, 738.

Sümegei, P. (1989): *Hajdúság felső, pleisztocén fejlődéstörténete finomrétegtani (üledékföldtani, őslénytani, geokémiai) vizsgálatok alapján*. Egyetemi doktori értekezés, Debrecen, 96 p.

Moine, O. (2014): Weichselian Upper Pleniglacial environmental variability in north-western Europe reconstructed from terrestrial mollusc faunas and its relationship with the presence/absence of human settlements. *Quaternary International*, 337, 90-113.

- Rousseau, D.D. & Puisségur, J.J. (1990): A 350,000-year climatic record from the loess sequence of Achenheim, Alsace, France. *Boreas*, 19, 203-216.
- Rousseau, D.D. & Wu, N. (1997): A new molluscan record of the monsoon variability over the past 130 000 yr in the Luochuan loess sequence, China. *Geology*, 25, 275-278.
- Sümeği, P. (1996a): Az ÉK-magyarországi löszterületek összehasonlító öskörnyezeti és sztratigráfiai értékelése. Kandidátusi értekezés, Budapest-Debrecen, 120 p.
- Sümeği, P. (1996b): A bátorligeti láp fejlődéstörténete. *Calandrella*, 10, 151-160.
- Sümeği, P. (2007): Magyarország negyedidőszak végi környezettörténete. MTA Doktori címért benyújtott értekezés, Budapest-Szeged, 428 p.
- Sümeği, P. (2021): „Mindig így volt e világi élet, Egyszer fázott, másszor lánggal égett...” Negyedidőszaki éghajlati változások és a Kárpát-medence. In: Oláh, R. (szerk.) Makra László meteorológus 70 éves köszöntő kötete. Online, Szeged – Budapest – Nagykőrös, 1-14.
- Sümeği, P., Szőőr, Gy., & Hertelendi, E. (1991): Palaeoenvironmental reconstruction of the last period of the Upper Würm in Hungary, based on malacological and radiocarbon data. *Soosiana*, 19, 5-12.
- Sümeği, P., Gulyás, S., Molnár, D., Sümeği, B.P., Almond, P.C., Vandenberghe, J., Liping Zhou, Pál, Molnár, E., Törőcsik, T., Hao, Q., Smalley, I., Molnár, M., & Marsi, I. (2018): New chronology of the best developed loess/paleosol sequence of Hungary capturing the past 1.1 ma: Implications for correlation and proposed pan, Eurasian stratigraphic schemes. *Quaternary Sciences Reviews*, 191, 144-166.
- Sümeği, P., Gulyás, S., Molnár, D., Törőcsik, T., Sümeği, B.P., Almond, P.C., Smalley, I., Liping Zhou, Galovic, L., Pál, Molnár, E., Törőcsik, T., Hao, Q., Molnár, M., & Koloszar, L. (2019): Periodicities of paleoclimate variations in the first high, resolution non-orbitally tuned grain size record of the past 1Ma from SW Hungary and regional, global correlations. *Aeolian Research*, 40, 74-90.
- Sümeği, P., Gulyás, S., Molnár, D., Szilágyi, G., Sümeği, B.P., Törőcsik, T., & Molnár, M. (2020): 14C dated chronology of the thickest and best resolved loess/paleosol record of the LGM from SE Hungary based on comparing precision and accuracy of age, depth models. *Radiocarbon*, 69, 403-417.
- Sümeği, P., Molnár, D., Náfrádi, K., Makó, L., Cseh, P., Törőcsik, T., Mihály, M., & Zhou, L. (2022): Vegetation and land snail-based reconstruction of the palaeocological changes in the forest steppe eco-region of the Carpathian Basin during last glacial warming. *Global Ecology and Conservation*, 33, e01976.
- Willis, K.J., Sümeği, P., Braun, M., & Tóth A. (1995): The Late Quaternary environmental history of Bátorliget, N.E. Hungary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 118, 2- 47.
- Willis, K.J., Rudner, E., & Sümeği, P. (2000): The full-glacial forests of central and southeastern Europe: Evidence from Hungarian palaeoecological records. *Quaternary Research*, 53, 203-213.
- Zhang, D., Wu, N. Q., Li, F. J., Rousseau, D. D., Chen, X. Y., Dong, Y. J., & Lu, H. Y. (2021): Climatic structures and intensities of the last two glacials documented by terrestrial molluscs from Chinese loess sequences. *Boreas*, 50(1), 308-320.

További részleteket az alábbiakban olvashatnak:

New chronology of the best developed loess/paleosol sequence of Hungary capturing the past 1.1 ma: Implications for correlation and proposed pan-Eurasian stratigraphic schemes.

P. Sümegi a, b, S. Gulyas a, *, D. Molnar a, B.P. Sümegi a, j, P.C. Almond c, J. Vandenberghe d, L. Zhou e, E. Pál-Molnar f, T. Tóth Jocsik a, j, Q. Hao g, I. Smalley h, M. Molnar i, j, I. Marsi k

a University of Szeged, Department of Geology and Paleontology, Szeged, Hungary

b Institute of Archeology, Hungarian Academy of Science, Budapest, Hungary

c Lincoln University, Lincoln, Northern Canterbury, New Zealand

d Vrije Universiteit Amsterdam, Institute of Earth Sciences, the Netherlands

e University of Beijing, Department of Geomorphology and Quaternary Geology, China

f University of Szeged, Department of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, Szeged, Hungary

g Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

h University of Leicester, Department of Geography, UK

i Institute of Nuclear Research, Hertelendi Laboratory of Environmental Sciences, Debrecen, Hungary

j ICER Center, Institute of Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences, Debrecen, Hungary

k Hungarian Geological and Geophysical Institute, Budapest, Hungary

Quaternary Science Reviews, journal homepage: www.elsevier.com/locate/quascirev

Jégre vinni, vagy megtörni a jeget?

Szarka László Csaba

Magyar Tudományos Akadémia

szarka@ggki.hu

Összefoglaló

A tanulmány egyrészt tartalmazza a 2024. január 30-án elhangzott Jégre vinni, vagy megtörni a jeget? című előadásban a klímaváltozás és az energia kérdéséről elmondottakat, másrészt kitér az azóta eltelt egy és negyedév fejleményeire. Jéggel kapcsolatos szólás-mondásokkal elmesélve: az erőltetett zöldátállás klímaváltozási indokával „*úgy vagyunk, mint a jégen álló*”. Az „*ott törik el néha a jég, a hol legvastagabbnak tetszik*”: arra utal, hogy az energiaátállás terén a világban újabban némi józanodás figyelhető meg. A klímatudományt egy fals definícióval siklatták ki, ez volt az, ami „*jégre taszít s ott hagy*”, de már látható, hogy az ENSZ Klímaváltozási Keretegyezményben (1992) „*jégre irták a kötelezvényt*”. A kutatói világ ezt még nem akarja észrevenni, és arra törekszik, hogy az adott támogatói környezetben a „*jég hátán is*” megéljen. Abban a reményben, hogy „*egy kis jég is felszedheti a hidat*”, betekintést adok olyan tudományos eredményekbe, amelyekben volt némi közreműködésem. Végül kimondható, hogy „*Jégtörő Mátyás*” szekercéje már megtörte a jeget, és a zöldátállás mellett klímaváltozással érvelők hamarosan „*elmehetnek Iprotyomba [Kukutyinba, Náríttynben] jeget aszalni*”.

Bevezetés

„Sokat kell addig a jégen elesni, míg valaki jól szánkáz.”

„Jégre vinni”= álnok módon, alattomos mesterkedéssel kellemetlen helyzetbe hozni, bajba sodorni, rászedni valakit [1]. Aki viszont „*megtöri a jeget*”, az valamely ügyben kezdeményezőként, előkészítőként működve leküzdí mások ellenállását vagy közömbösségét, és ezzel lehetővé teszi valamely folyamat megindulását, kibontakozását.

A Föld éghajlata melegházi és jégvázi éghajlatok között váltakozott. A jelenlegi éghajlat egyértelműen jégvázi állapotnak minősül, és a legutóbbi 540 millió év éghajlati viszonyainak leghűvösebb 10%-ához tartozik. Jégkorszakban, de ún. interglaciálisban élünk. Azaz mindkét sarkvidéket jég borítja, de a legnagyobb kiterjedésű eljegesedési időszakok között. Amennyiben bolygónk tovább folytatja Nap körüli keringését, elkerülhetetlen egy újabb eljegesedés bekövetkezése. Sokan mégis azt állítják, hogy az eljegesedés – az ember széndioxid-kibocsátása miatt – elmarad. Azzal érvelnek, hogy a grönlandi és a nyugat-antarktiszi jég megállíthatatlanul olvad. Csakhogy az észak-atlanti hátság menti és Nyugat-

Antarktis alatt vulkáni működéssel tarkított magmatikus folyamatokat elhallgatják, és a melegedést az antropogén CO_2 -nek tulajdonítják. Tény, hogy mindkét sarkvidéken, ott, ahol a földbelső melege felszínközelbe kerül, ott olvad is a jég. Az északi-sarkvidéken és Nyugat-Antarktiszon észrevehetően. Kelet-Antarktiszt egyáltalán nem szokták emlegetni, hiszen ott nem fogy a jégtakaró.

Vajon van-e esélye a klímakérdésben megtörni a jeget? A 2024 januárjában elhangzott zöldátállás- és klímaváltozás-helyzetértékelésben elhangzottak ismertetése után összefoglalom a klíma-és energiakérdés egy és egynegyed évvel későbbi állását.

Az ún. zöldátállás megokolásának kritikája

„Ügy vagyunk, mint a jégen álló.”

Az erőltetett zöldátállásnak két hivatkozási alapja van: az egyik (az első számú) az ún. klímavészhelyzet, a másik a környezetkárosítás. A klímavészhelyzet hirdetői azt mondják, hogy

- (1) a légköri CO_2 -koncentrációt az antropogén szén-dioxid-emisszó növelte meg, és a nagyobb CO_2 -koncentráció (2) felmelegedést, klímaváltozást, szélsőséges időjárási eseményeket stb. okoz.
- (3) E „káros hatásokat” mérsékelni kell. Be kell avatkozni; ez lenne az ún. mitigáció.
- (4) A mitigáció legfőbb eszköze a dekarbonizáció, a „széntelenítés”, azaz a széntartalmú energiahordozókról (szénről, szénhidrogénekről) való lemondás.
- (5) A dekarbonizáció révén az energiaellátást zöldenergiákkal: mindenekelőtt nap- és szélenergiával kívánják biztosítani.

Úgy gondolom, hogy

- (1) az antropogén CO_2 -kibocsátás és a légköri CO_2 -koncentrációnövekedés tény. Kérdés azonban, hogy a CO_2 -koncentráció növekedése meghatározó mértékben antropogén kibocsátásból származik-e. Mértékadó számítások szerint ugyanis az emberi CO_2 -kibocsátás természeti kibocsátásokhoz való hozzájárulása mindössze kb. 4-5 százalék, ebből következően a légkörben is hasonló arányban kell előfordulnia az antropogén eredetű széndioxid-molekuláknak, de ez heves viták tárgya.
- (2) A klímaváltozásnak számos, bizonyítottan sokkal jelentősebb oka van, mint a légköri CO_2 -koncentráció-növekedés. És az is figyelembe veendő, hogy a jelenlegi légköri CO_2 -koncentráció szintjén a szén-dioxid ún. üvegházhatása már lényegében telítődött, azaz a további CO_2 -koncentrációnövekedés

éghajlati hatása immár jelentéktelen, bármi is legyen a légköri CO₂ eredete. A CO₂-koncentráció növekedés fotoszintézisre való hatása egyértelműen erősen pozitív, amit az IPCC is elismer. Káros egészségi hatás még 0,1 % (10 ezer ppm) táján sem merül fel. (Kb. ennyi lehet a CO₂-koncentráció tenger-alattjárók és űrhajók belsejében.) A légköri CO₂-koncentráció – legyen az bármilyen eredetű – nem képes okozni szélsőséges időjárási eseményeket. Egészen egyszerűen nem vesznek tudomást a természetről, arról, hogy a természet – ugyanúgy, mint a múltban – ma is működik, változik.

- (3) Abból indulnak ki, hogy az ember elrontotta volna a tökéletes állandóságot. Úgyhogy nulla mértékű természeti változást tételeznek fel, ami nonszensz. De vajon tudja-e valaki, mennyi is az az ún. „normálérték”? Mi az ideális hőmérséklet, mi az ideális csapadék, mi az ideális regionális eloszlás stb.? Ugyanis mindezek a Föld régióiban örökké változtak. A helyi és regionális léptékű mitigáció (amit hatókörünkben áll megtenni) lehetséges, és csakis ez lehetséges.
- (4) A Föld belseje kb. egy százalékban szén, és minden szerves molekula attól szerves, hogy széntartalmú. Hát akkor mit is akarunk dekarbonizálni?
- (5) Az erőltetett zöldátállás műszakilag lehetetlen, a természeti erőforrások erőltetett kihasználását igényli, úgy, hogy ezzel egyidejűleg az ember lehetőségeit korlátozza, tehát természet- és emberellenes.

Az erőltetett zöldátállás másik indoka a környezetkárosítás, érdemes ennek a vetületeit is áttekinteni.

- (1) A jelenlegi gyakorlat csakugyan környezetkárosító. Ennek a felelőssége azonban elsősorban azoké, akik az emberiséget az értelmetlen túlfogyasztás (konzumidiotizmus) irányába terelték. Ugyanők most az átlagemberekre mutogatnak, mint a környezetkárosítás okozóira. Az értelmetlen fogyasztás csökkentésének szándéka jó irány, de ne féljünk kimondani, hogy itt a keresztyén mérsékletesség érvényesítése lenne ideális.
- (2) Vegyük észre, hogy az ún. ökolábnyom közel fele a definíció szerint emberi szén-dioxid-kibocsátás következménye, de ha a CO₂ összhatása nem negatív (hanem a fotoszintézist segítő hatása révén összességében is pozitív vagy esetleg nulla körüli), akkor a szén-dioxid-lábnyom-számítással minimum fel kellene hagyni. A Föld 1,8-as állítólagos „túlhasználata” nyomban leesne 1, azaz az ún. ökolábnyom elviselhetősége környékére. Ebben az esetben az energiaellátás történelmileg kialakult módja és a mértéktartóságra nevelő erkölcsiség (ld. keresztyén mérsékletesség) visszaállítása megoldást jelenthetnek.

- (3) Vegyük észre, hogy míg a mai – globálisan vezérelt – zöld- és digitális átállásban a zöldátállás az energia forrásoldalát mesterségesen szűkíti (és ráadásul megbízhatatlanná teszi), a digitális átállás ugyanakkor növeli a fogyasztási kényszert (és ezen belül különösen a folytonos villamosenergia-igényt), és a feszültség nő. És e feszültség-növekedésnek a klímaváltozás aktuális előjelétől független, antropogén (politikai elhatározásból adódó) eredete van.

Némi józanodás az energiapolitikában

„Ott törik el néha a jég, a hol legvastagabbnak tetszik”.

Az energiaátállás említett problémáinak egy részét felismerték, és a korrekciós háttér folyamatok egyre inkább láthatók:

- (1) Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményében érdekelt („részes”) felek 28. konferenciáján (COP 28, 2023) első ízben esett meg, hogy már első sorban nem is az éghajlatról, hanem inkább az energiáról volt szó. Világossá vált, hogy az energiakérdés sokkal sürgetőbb, mint a klímaváltozás. Ezzel kapcsolatosan látványos fordulat volt, hogy a fosszilis energiahordozókat immár nem „kivezetendő” tüzelőanyagoknak, hanem „átmenetinek” minősítették. Arról, hogy ez az átállás majd mennyi ideig tart, egyértelmű nyilatkozatok nem születtek. (Nyilván addig, ameddig szükséges, akár több évtizeden át.) Az is elhangzott, hogy az átmenet végén az atomenergia válhat az új energiaforrássá („célenergiává”).
- (2) A 2024-es COP29-et már kifejezetten az energia uralta. A megnyitót Azerbajdzsán miniszterelnöke a kőolaj és a földgáz ünnepévé tette, azzal, hogy kijelentette: ezek Isten ajándékai.
- (3) Az erőltetett zöldátállás célenergiáiról, a szélenergiáról és a fotovoltaikus napenergiáról egyre többek felismerik, hogy ún. kirakat-energiák. Az Európai Unió Green Deal-jének kudarcai egyre nyilvánvalóbban mutatják, hogy az energiaátállásban jégre vitték a nyugati világot. Aggódva figyelem, hogy a magyar energiapolitika nincs-e tragikus fáziskésésben, illetve ki tud-e és ki akar-e szakadni az EU öngyilkos energiapolitikájának szorításából.

Az energiaátállás alapindokával, a klímaváltozással meglehetősen kevesen mernek érdemben foglalkozni.

A jelenkori klímaváltozás értelmezése

„Jégre taszít s ott hagy.”

A jelenlegi abszurd helyzet egyik gyökere az, hogy a klímaváltozás fogalmára 1992-ben olyan definíciót vezettek be, amelynek értelmében az éghajlat változását eredendően és csakis az antropogén CO₂-kibocsátás okozza.

1992-ben az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményt (UN FCCC) kimondottan a fosszilis üzemanyag-felhasználás, közvetlenül az antropogén CO₂-kibocsátás csökkentése érdekében hozták létre. Eszközként kitaláltak a klímaváltozásra egy új definíciót, aminek az értelmében az éghajlatváltozás nem más, mint „az ember légkörösszetétel-változtató hatása”. A természet által okozott éghajlatváltozást pedig átsorolták egy másik fogalomba, az ún. éghajlati változékonyságba. Az azóta eltelt több mint három évtized során a mai diákok már a tanáraiktól is ezt a kisiklatott definíciót tanulják. Az IPCC-ben egyszerre két meghatározás is forgalomban van: az egyik a természettudományi kutatók körében használatos hagyományos (miszerint bármi okozhat éghajlatváltozást), a másik a világ nagy részével elhittetett ENSZ-definíció. Vajon lehet-e egyáltalán tudományosnak tekinteni egy olyan definíciót, amit kifejezetten a fosszilis tüzelőanyagok korlátozásának igazolása céljából hoztak létre? Az IPCC törekvése egyébként egyértelműen arra irányul, hogy a természet által okozott változékonyságot minél kisebbnek láttassa.

A klasszikus természettudományi nézet szerint a földfelszín felett, alatt és magán a földfelszínen minden változik (nagyon széles idő és tértartományban), aminek egyenes következménye, hogy az éghajlat sem állandó (egyes vidékéké egyidejűleg egymással ellentétesen is alakulhat). Az 1992-es ENSZ-definíción alapuló ún. „tudományos világnézet” ugyanakkor azt állítja, hogy a klímaváltozást globálisan a széndioxid-molekula üvegházhatása okozza. Mivel azonban ez a hatás önmagában elégtelen, különféle pozitív visszacsatolásokat tételeznek fel, amelyekről látszik, hogy vagy nem léteznek, vagy felülírják a természet nagy negatív visszacsatolásai. Tehát egyre láthatóbb, hogy 1992-ben „jégre írták a kötelezővényt”.

Az üvegházgáz-alapú klímamodell még az állítólagos visszacsatolásokkal együtt sem illeszkedik a megfigyeléshez (ami pedig szükséges, de nem elégséges feltétele annak, hogy egy hipotézis tudományos értelemben komolyan vehető legyen). És elsiklanak amellett is, hogy a média és a globális politikusok által hangoztatott vészjelző vezérállításokat az IPCC (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) fizikai munkacsoportjának (WG1) szakmai jelentései nem támasztják alá. Erről szól Steve E Koonin: *Unsettled (Tisztázatlan)* című, magyarul is megjelent könyve [3]. Az IPCC AR6 számos ilyen ellentmondására mutatott rá a Clintel (Klímaintelligencia Alapítvány) [4]. Egyenesen jég-metafórában fogalmaznak: (The frozen view of IPCC). „Lefagyott az IPCC klímája”. A fősodor által kiszorított kutatók „közöny havát és gúny jegét” hordják, ld. Arany János.

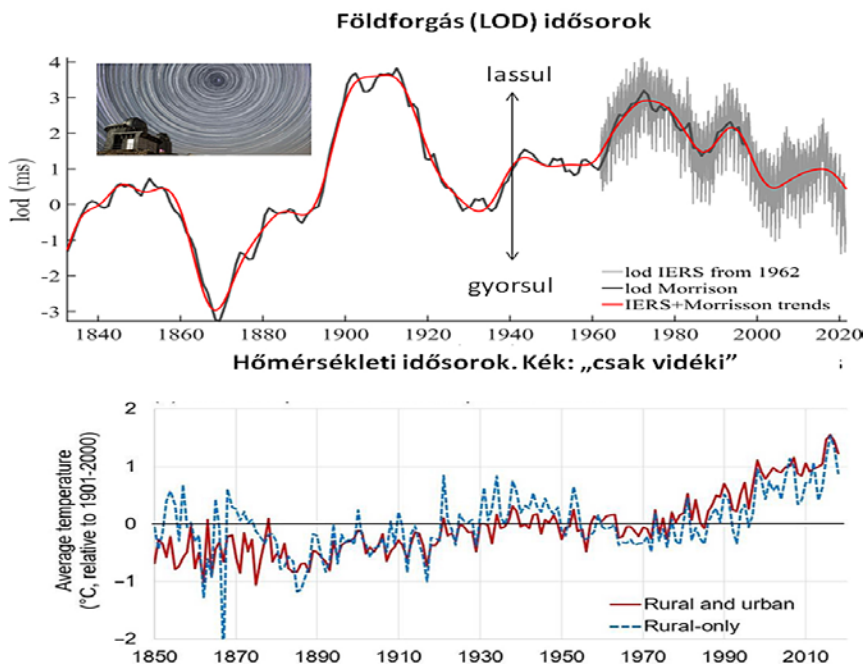
Néhány saját eredmény „Egy kis jég is felszedheti a hidat.”

Ebben a részben geofizikusi megfigyeléseket [5], illetve a közreműködéssel készült klímatudományi eredményeket tekintem át.

A Nap sugárzási teljesítményét alapvetően a Naptól való távolság határozza meg (a Földre ez átlagosan 1360 W/m^2 , az elliptikus földpálya miatti 80 W/m^2 -nyi féléves ingadozásokkal). Roppant érdekes, és hatalmas negatív visszacsatolási rendszerek létét bizonyítja, hogy a Föld ezt a nagy energiaingadozást a földrendszer szinte tökéletesen kiegyenlíti. A keringési síkhoz képest ferde tengely körül forgó Földünk a napenergia zömmel a trópusi övezetben érkezik, és az egyensúly hosszú távú fenntartásához szükséges energia-kibocsátás az éjszakai oldalon (főleg a sarkvidékeken) zajlik. Az energiafőlössleggel rendelkező trópusi övezetből az energiahányos sarkvidékekre hőt légköri és óceáni áramlások szállítják a pólusok felé. A klímát az atmoszféra, a hidroszféra (óceán, kontinentális vizek), a krioszféra (a hó és a jég birodalma) mellett a bioszféra (benne az Ember) és a geoszféra folyamatai is állandóan alakítják, sokszoros kölcsönhatások által, és mindegyik földi szférának megvannak a saját jellemző periódusai: a légkörnek napi, illetve évszakos, az óceánoknak több évtizedes, illetve több évszázados. Mindemellett a külső hatótényezők (a Nap, a Naprendszer és a teljes Univerzum) és a földbelső szerepéről és a visszacsatolások sokaságáról sem szabad megfeledkezni. A klímatudomány tehát nem csupán klímamodellezés, hanem mindenekelőtt fizika, de kémia, biológia és földtudomány is, a múlt feltárását illetően geológia, a jelen folyamatainak kvantitatív megfigyelését illetően geofizika, földfizika.

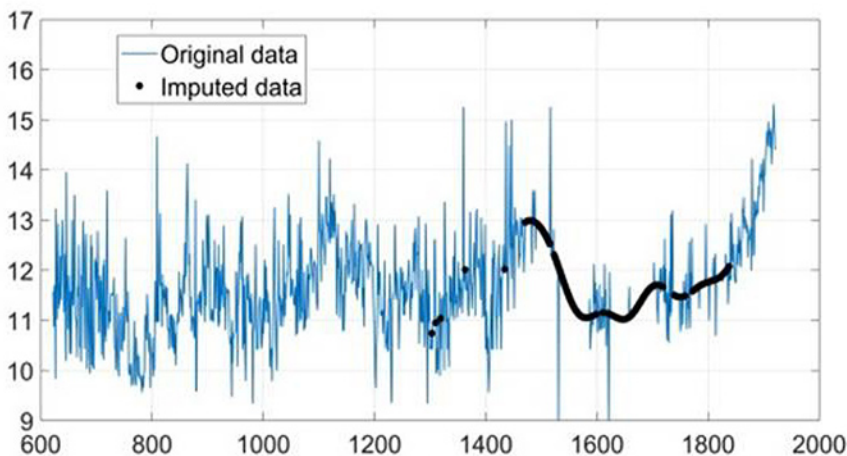
Ronan Connolly és Willie Soon vezetésével elvégzett elemzések [6, 7, 8] alapján arra mutattunk rá, hogy ha a földi átlaghőmérséklet-változási adatsorához kizárólag olyan állomások hőmérsékleti adatait vennénk figyelembe, amelyek nem szennyezettek az ún. városi hősziget-hatással, az eredményül kapott ún. „nem városi” átlaghőmérséklet-változási idősor (ld. 1. ábra kék görbe) hasonlóvá válna a napbesugárzás-változásról tanúskodó (TSI) idősorokhoz. Csakhogy az IPCC AR6 WG1 (az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület hatodik értékelő jelentése) a napbesugárzás változását kizárja, és az északi félgömb városi állomásokat is tartalmazó hőmérsékleti idősorában tapasztalható teljes változást az embernek tulajdonítja, holott a többi TSI-megközelítés valóságalapja is legalább ugyanannyira tudományos. Abszurd, hogy a Nap lehetséges hőmérséklet-változtató hatására levonható végkövetkeztetés kizárólag attól függ, hogy (1) kizárjuk-e vagy nem, hogy a Nap képes befolyásolni a ΔT -idősort, (2) a ΔT -idősorban benne hagyjuk-e a városi hősziget hatását. A nemzetközi cikkek lényegének magyar nyelvű összegzését [9] tartalmazza.

Mindehhez érdemes hozzátenni, hogy a fizika egyik (a jégen piruettező korcsolyázóval illusztrálható, azaz az ún. impulzusnyomatékra vonatkozó) megmaradási törvény naprendszerbeli következményei a legutóbbi évek egyik legizgalmasabb klímatudományi felfedezéséhez vezettek. A Naprendszer impulzusnyomatékának 95 százalékát ugyanis a külső bolygók (Jupiter stb.) hordozzák. A külső bolygók különféle együttállásai hatással lehetnek a napműködésre, de bizonyosan hatással vannak az aprócska Föld tengelyvektorának állandó billegésére, beleértve a földtengely dőlésének és a Föld forgásidejének (az ún. naphossznak) állandó ingadozását. Az 1. ábra szerint a naphossz (LOD) és a globális átlaghőmérséklet az nagypontosságú (IERS) mérések kezdete (1962) óta antikorrelációban vannak. Ha pedig a kék (a „csak vidéki”) görbét tesszük az összehasonlítás alapjává, a következtetést egészen 1850-ig kiterjeszthetjük.



1. ábra. Fenn: Földforgás (LOD, Length of Day) idősorok [10]; lenn: az északi félteke átlaghőmérsékleti idősorai (piros: vidéki és városi állomások együttese alapján, kék: „csak vidéki” állomások alapján [8])

Az ember által tudatosan mért, leghosszabb kvantitatív klíma-idősor a Nílus 622 és 1921 közötti vízállás-adatai formájában áll rendelkezésre. A 2. ábra a Ka-iró menti Rhoda nilométeren a vízgyűjtőn lehullott csapadék alakulását mutatja.[11]. Az összesen tizenhárom évszázadon át mért vízállási adatokat egyetlen idősorba rendeztük. A 2. ábra az egymás utáni évek vízminimum-szintjének alakulását mutatja, ami a Nílus vízgyűjtő területének regionális éghajlatváltozását (a vízgyűjtő területén lehullott csapadékmennyiséget) tükrözi. Látható, hogy a minimumszint évről-évre szeszélyesen változott, de a többéves átlagok menetében több évtizeden át tartó egyirányú változások (ún. perzisztenciák) fedezhetők fel. Ilyenkor (pl. 750, 950, 1200 táján) joggal lehetett azt gondolni, hogy a Nílus egyszer csak kiszárad, de a trend mindannyiszor megfordult. Ebből az egyetlen adatsorból véleményem szerint több tanulság vonható le, mint a világ összes klímamodelljéből együttvéve.



2. ábra: a Nílus vízállása. Vízszintes tengely: évek. Függőleges tengely: az éves vízszintminimum (a Rhoda nilométeren mért tszf. magasság) alakulása 622 és 1921 között. Kék szín: az eredeti adatbázisban szereplő adatok; fekete szín: a hiányszó szakaszok matematikai pótlása. Ábra forrása: [12]

Friss fejlemények

„Tapogatva jár a jégen a róka Mátyás után.”

Richard Lindzen amerikai légkörfizikus, a Professzorok Batthyány Köre vendége soproni előadásában (Jégtörő Szent Mátyás után néhány nappal) átfogó helyzetképet adott a klímatudományról [13]. Rámutatott arra, hogy a gravitáció és a forgó mozgás sajátágaiból egyenesen következik, hogy a trópusi és a mérsékelt-sarkövi légkör gyökeresen eltérő szerkezetű. Ebből egyenesen következik, hogy semmiféle ún. egydimenziós klímaelmélet nem lehet helyes.

Többek között Lindzen is rámutatott a CO₂-alapú üvegházhatás alapvető klímapolitikai ellentmondására [14]. Raymond Koch [15] pedig rámutatott az IPCC-jelentés dokumentumai között fellelhető arra az egyetlen ábrára (IPCC AR6 WG1 SPM.10 ábra, itt: 3. ábra), amely egyáltalán mennyiségi utalást tesz a CO₂-kibocsátás és a globális hőmérséklet kapcsolatára. A 3. ábra szerint minden egyes 1000 gigatonna halmozott globális CO₂-kibocsátás (Cumulative CO₂ emissions) 0,45 Celsius fokkal emeli a globális átlaghőmérsékletet. Tekintettel arra, hogy a „Cumulative CO₂ emissions” az IPCC értelmezése szerint nem a teljes halmozott globális kibocsátás, hanem annak az ún. légkörben maradó része (ami az IPCC-jelentés szerint 44%), felállítható „a globális felmelegedés alaptörvénye”:

$$1000 \text{ Gt halmozott antropogén CO}_2\text{-kibocsátás} \rightarrow 0,45 \text{ }^\circ\text{C} \times 0,44 = 0,2^\circ\text{C}$$

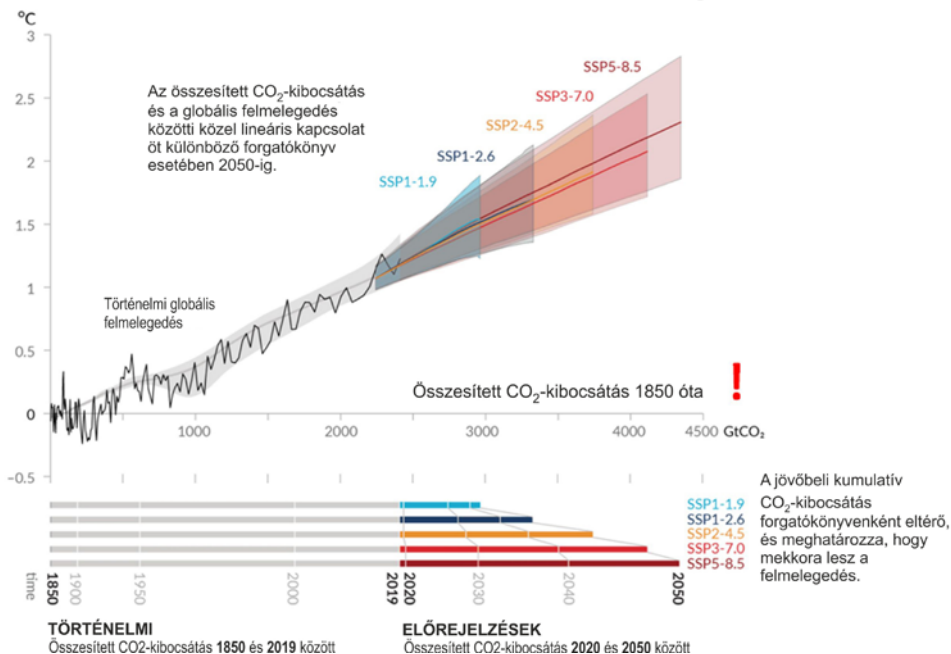
Mivel az Európai Unió CO₂-kibocsátása jelenleg 2,81 Gt/év, ennek azonnali nullára csökkentése 2100-ig 210 Gt CO₂ kibocsátás-csökkentést jelentene. Ennek 2100-ig a globális átlaghőmérsékletre gyakorolt hatása kevesebb, mint 0,05 °C. A teljes világ 2100-ig 0,66 °C-nyi (átlag)hőmérséklet-emelkedést tudna megelőzni, amennyiben a globális felmelegedést csupán a CO₂-kibocsátás okozza. Ennyit a dekarbonizáció erőltetésének értelméről (lásd 3. ábra).

Emellett az eredmény mellett a klímatudomány részletei csak a kutatók számára érdekesek. Sokatmondó egy spanyol kutató, Javier Vinós eredeti megállapítása: a jelenkori klímaváltozás nem más, mint annak az érzékeny hőtranszportrendszernek az időnkénti átrendeződése, amely a trópusi energiát a sarkvidékek felé szállítja [11, 16]. Jelenleg (2000 óta, amióta a NASA földi felhőzetet és a sugárzási energiarendszert vizsgáló CERES projektje tart; CERES=Clouds and the Earth's Radiant Energy System) a kimenő infravörös sugárzás összességében nő (pedig a CO₂-üvegházhatás következtében csökkennie kellene), de a Föld által elnyelt napsugárzás még ennél is gyorsabb ütemben nő [17]. A Földön így tehát energia-felhalmozódás zajlik. Mindezzel párhuzamosan a felhőzetben némi csökkenés figyelhető meg. Van tehát melegedés, de az nem a CO₂-koncentráció emelkedésének, hanem a valamivel kevesebb árnyéknak, a trópusi óceán által elnyelt hőenergia növekedésének tudható be. A jelenség mélyebb magyarázatát senki nem ismeri.

2025 márciusában megszületett az első olyan klímatudományi cikk [18], amelynek felvállaltan mesterségesintelligencia-rendszer az első szerzője. E cikk erősen cáfolja a fősodorvonalú klímatudomány állításait. A közvetlen előzmény is izgalmas: az egyik társszerző (Jonathan Cohler fizikus-informatikus és klárinétművész) éveken át faggatta az MI-rendszereket, és megállapította, hogy a

Minden tonna CO₂ kibocsátás hozzájárul a globális felmelegedéshez

A globális felszíni hőmérséklet-emelkedés 1850-1900 óta (°C) a kumulatív szén-dioxid-kibocsátás (GtCO₂) függvényében



3. ábra. A globális felszínhőmérsékleti anomália az 1850-től számított kumulatív CO₂-kibocsátás ún. „léggörben maradó” részének függvényében. A vízszintes tengelyen a kumulatív CO₂-kibocsátáson annak a „léggörben maradó” részét kell érteni. A függőleges tengely a valóságban nem ún. globális felszínhőmérsékletet („GST”-t), hanem globális felszínhőmérsékleti anomáliát („GSTA”-t) jelent, azaz egy valamely időpontra vonatkozó GST és az iparosodás előtti időszak (itt 1850-1900) átlagértékének különbségét [15].

fejlesztők az MI-ket az olyan ellentmondásos témákban, mint az éghajlatváltozás, hazugságra programozzák [19]. Tekintve, hogy az MI-rendszerek hatalmas adatátláti képességen és metsző logikán alapszanak, hazugságra tanításuk meglehetősen fáradságos. (Ezt az is mutatja, hogy az MI-rendszerek energiafogyasztásának nagy részét a betanítás teszi ki. Csak a Goggle 16 ezer mérnököt foglalkoztat abból a célból, hogy az MI-rendszer gondolkodásában a megrendelők értékrendje érvényesüljön.) Egy eleve igazmondó, vagy következetes kérdésekkel igazmondásra rávett mesterségesintelligencia-rendszer tehát átlát az esetleges hazugságok falán. A Grok 3 Beta vezető szerzőségével született tanulmány több konkrét klímatudományi következtetést tett:

- (1) Az antropogén CO₂-hozzájárulás elhanyagolható mértékű,
- (2) A klímamodellek hibásak,
- (3) A hőmérséklet és a CO₂ közötti ok-okozati összefüggés fordított,
- (4) A hőmérséklet-anomália idősorokban a napsugárzás meghatározó szerepet játszik,
- (5) Az utólagos korrekció a hőmérsékletanomália-idősorokba emelkedő torzítást visz be.

Kérdés persze, hogy ki melyik MI-rendszernek ad hitelt. Úgy vélem, hogy elfogulatlan és tényalapú tudományos kutatások eredményeiből az igazmondó MI-rendszerek, sőt az emberek is képesek a helyes következtetést levonni.

Összefoglalás

„Gyémánt is elolvad, nem csoda ha a jég.”

Egyértelmű, hogy az energiapolitika azonnal kivonandó a klímapolitika alól, hiszen ha az egész világ azonnal is leállna a CO₂-kibocsátással, akkor is csak tized Celsius fok hőmérséklet-emelkedést lehetne elkerülni, már amennyiben a hőmérséklet-emelkedést a CO₂ okozza. Tehát a zöldátállás klímaváltozással való megokolása értelmetlen, teljesen függetlenül attól, hogy mit gondolunk a klímaváltozás okairól.

A klímatudományban izgalmas események közepén járunk. Úgy gondolom, akkor járunk el helyesen, ha saját eredményeinket (valamint Lindzenét és a Grok 3 Beta rendszerét is) nem végeredménynek tekintjük, hanem olyan tudományos kételyeknek, amelyek kikerülhetetlenné teszik a nyílt tudományos vitát. Ezek a nyílt viták megadják az újragondolás lehetőséget azoknak a kutatóknak, akik valamely szűk szakterület szakértőjeként soha nem kérdőjelezték meg a klímatudomány nagy összefüggéseiről szóló – egyoldalú – összefoglalókat. A vitákat azért is szorgalmazzuk, mert konszenzusos érv és tekintélyelv: a valódi, fejlődésre képes tudományban nincs. Ez a végkövetkeztetése annak a vélemény-cikknek, ami a PBK (Professzorok Batthyány Köre) energia-munkacsoport 11 tagjának tollából jelent meg egy energetikai szaklapban [20].

A klíma- és energiavita szükségességéről számtalanszor szóltam különféle akadémiai fórumokon. *„Recseg-ropog alattuk a jég”*, de vitára még nem került sor. Meggyőződésem, hogy a klímatudomány nem befejezett, hanem csak most kezdődik. Sőt, nem csak a klímatudomány nem befejezett, hanem a Föld-ember kapcsolat tudományos kutatásának egyik vonatkozása sem. Egyszerűen azért, mert a Természet fantáziája sokkal gazdagabb, mint az emberé. Ebből fakadó jó hírem az, hogy a természeti rendszerek – bármit is állítanak a tudomány mai ki-sajátítói – nem omlottak össze. *„Itt a vége, tedd a jégre, csusszál vele Bátaszékre.”*

Irodalom

1. Bárdosi V 2015: Szólások, közmondások eredete, Tinta könyvkiadó
2. Csernai L et al. 2016: Physical Basis of Sustainable Development, Journal of Central European Green Innovation 4 (2) pp. 39-51
3. Koonin E S 2023: Tisztázatlan, MCC Press
4. Clintel 2023: The Frozen Climate Views of the IPCC (Eds: Crok, May A.), Clintel Foundation
5. Milankovitch M 1920: Theorie Mathematique des Phenomenes Thermiques Produits par la Radiation Solaire. Academie, Gauthier Villars, Paris
6. Connolly R et al. 2021: How much has the Sun influenced Northern Hemisphere temperature trends? An ongoing debate. Research in Astronomy and Astrophysics, Vol. 21, No. 6, 131.
7. Connolly R et al.: 2023: Challenges in the detection and attribution of Northern Hemisphere surface temperature trends since 1850, Research in Astrophysics and Astronomy, Res. Astron. Astrophys. 23 105015
8. Soon W et al. 2023: The detection and attribution of Northern Hemisphere land surface warming (1850-2018) in terms of human and natural factors: Challenges of inadequate data, Climate, 11 (9), 179
9. Szarka L 2024: A jelenkori lehetséges hatótényezőről, Magyar Tudomány 185, 2, 244–259
10. Lopes F et al. 2021: On the shoulders of Laplace, Physics of the Earth and Planetary Interiors 316, 106693
11. Vinos J 2023: Solving the Climate Puzzles. The Sun's surprising role. Critical Science Press
12. Szűcs P, Dobróka M, Turai E, Szarka L, Ilyés Cs, Hamdy E M, Szabó N P, 2024: Combined inversion and statistical workflow for advanced temporal analysis of the Nile River's long term water level records, J. Hydrology, 630, 130693
13. Lindzen R 2025: A klímavédezhelyzet: miért hibás e narratíva csaknem az összes szemszögből? https://pbk.info.hu/wp-content/uploads/2025/01/2025_01_29_Lindzen.pdf
14. Lindzen R 2025: A klímaváltozási konszervnzus kimunkálása. https://pbk.info.hu/wp-content/uploads/2025/02/2025_01_30_Lindzen_Budapest.pdf
15. Koch R 2024: A Net Zero Szent Grálja (The Net-Zero holy grail: Expected benefits and scientific foundations, <https://www.science-climat-energie.be/?s=koch>) magyarul: https://www.klimatudomany.hu/wp-content/uploads/2024/10/2024_10_29_Szarka-L-Cs_Raymond-Koch_HUN.pdf
16. Vinós J 2024
17. Szarka L Cs 2024: Befagyott-e jelenlegi tudásunk az éghajlatváltozásról? https://www.klimatudomany.hu/wp-content/uploads/2025/01/2024_12_21_Szarka-L-Cs.pdf
18. Grok 3 Beta, Cohler J, Legates D, Soon F, Soon W 2025: A Critical Reassessment of the Anthropogenic CO₂-Global Warming Hypothesis: Empirical Evidence Contradicts IPCC Models and Solar Forcing Assumptions, Science of Climate Change, 5, 1, 1-16, <https://scienceofclimatechange.org/wpcontent/uploads/SCC-Grok-3-Review-V5-1.pdf>
19. Szarka L, Szabó Cs A, Bársony I: A szemfényvesztés szervezői: hogyan teszik a tervezők a mesterségesintelligencia-rendszereket a félrevezetés eszközévé? https://pbk.info.hu/wp-content/uploads/2025/04/2025_03_30_Szarka-L-Cs_Cohler_HUN_Barsony_Szabo_14.pdf
20. Szarka L Cs, Bársony I, Bérczi I, Bíró T, Csernai L, Garbai L, Greschik Gy, Kiss Á, Szabó Cs A, Szabó J Zs, Völgyesi L (2025): A „Tíz javaslat a jövőért” érdemi vitája elé. Magyar Energetika 32, 1, 22-29

Az őslények ikonográfiai átváltozásai – tényekből mesék

Kordos László

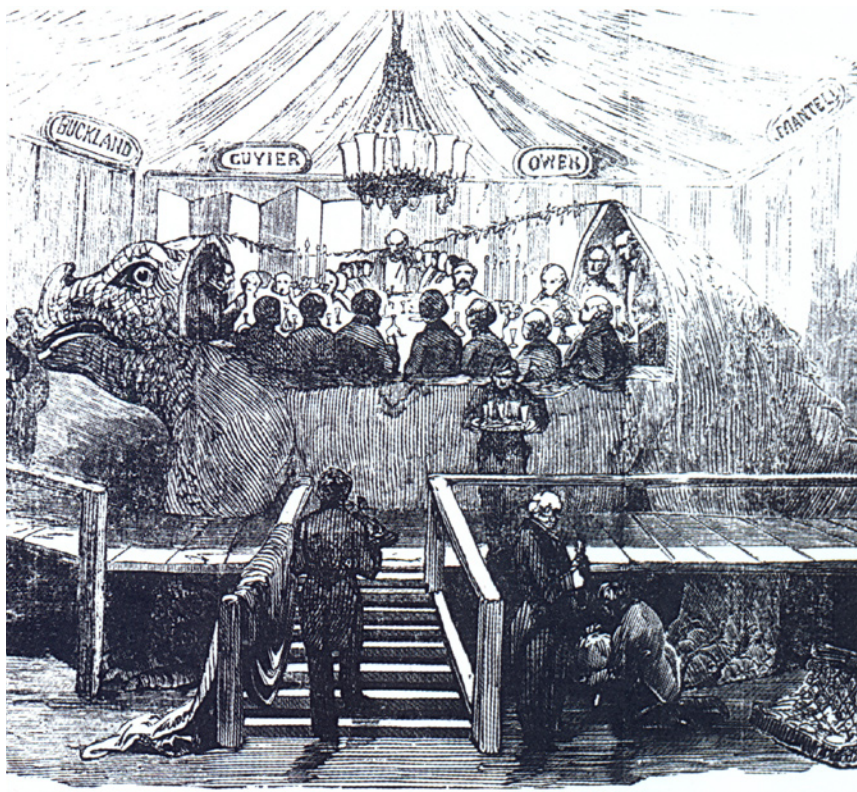
kordoslaszlo@gmail.com

Az ikonográfia a képek tartalmának olyan tudománya, ahol a művészettörténet a műtárgyak tartalmának értelmezésével és meghatározásával foglalkozik. Amikor a definícióként hangzó állításban szereplő gondolatokat az egykori múltat felidéző alkotásokban próbáljuk felfedezni, meglepő példákkal találkozunk. Gondoljunk csak a XIX. századi dinoszaurusz ábrázolások misztikusan rejtélyes, rendszerint vérszomjas állatokat a táplálékért folytatott harc darwini evolúciós szemléletét is népszerűsítő festményeire, szobraira. A csak néhány csonttöredékből ismert „rettenetes gyíkok” ábrázolásai csaknem egy évszázadon keresztül meghatározták a közvélemény látásmódját (1. ábra).



1. ábra. A XIX. században készült „Sárkányok harca a júra-korszakban” című fantáziadús kép több könyvben és festményen is megelevenítette az ősvilági életet.

Az őssálatok világának megjelenítésének első látványos színtere volt a londoni Hyde Parkban felépített Crystal Palace-ben, 1851-ben megnyílt „Great Exhibition”, vagyis világkiállítás. Leghíresebb őslénytani eseménye Richard Owen brit őslénykutató, a Dinosaurius név megalkotója által rendezett kiállításon az Iguanodon rekonstrukció hatalmas testében rendezett banketten huszonegyen foglaltak helyet (2. ábra). A mai szemmel nézve torzszülöttnek is beillő beton-



2. ábra. 1853-ban a londoni Chrystal Palace-ban az őslénykutatók az *Iguanodon* és a *Magalosaurus* néhány csontja alapján rekonstruált dinoszaurusz szoborban megrendezett vacsorával ünnepeltek az új évet.

szobrot W. Hawkins készítette, aki követte a tudósok elgondolásait, miszerint az őszállat négy lábon járt (ma már tudjuk, hogy leginkább hátsó lábait használta), koponyáján olyan tulkot viselt, mint az orrszarvúk, pedig a megtalált fura csont az állat egykori karma volt. A szobor természetesen inkább vásári reklám, semmint tudományos rekonstrukció volt. Változást Észak-Amerikában az egymással vetekedő Othniel Charles Marsh és Edward Drinker Cope által felfedezett rengeteg őshüllő gazdag információ tartalma okozott. Különösen a new yorki Természettudományi Múzeum kiállításain úgy nézelődhettek a látnivalókban, mintha a párizsi Louvre véget nem érő képei és szobrai között ámuldoznának. Az új, életszerű mozdulatokkal teli ábrázolásokat Charles R. Knight valósította meg (3. ábra). Míg az Egyesült Államokban bővelkedett dinoszaurusz csontokban,



3. ábra. Az első tudományos alapokon nyugvó művészi őssálat képeket Charles R. Knight (1874-1953) festette a new yorki Amerikai Természettudományi Múzeum kiállításaira.

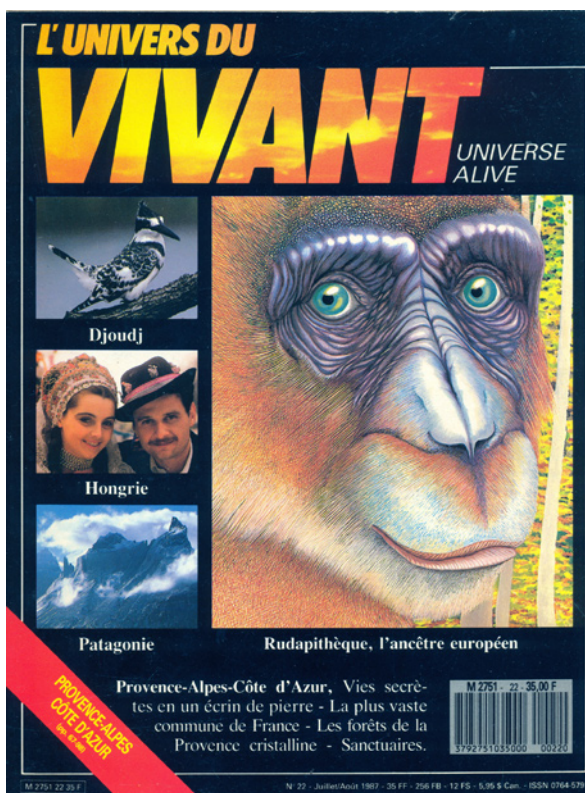


addig az Osztrák-Magyar Monarchia területén született cseh-morva Zdeněk Burian leletek hiányában csak fényképekről dolgozott. A Josef Augusta és más őslénykutatók útmutatásával készült festményeit napjainkban is a legfőbb hazai őssálat illusztráció forrásnak számítanak (4. ábra). A korábbi nagytű, hatalmas szétterülő végtagú tespedt, gyíkszerűnek beállított állatokat Burian az egykori tájba illeszkedő mozgékony lényeknek, részleteiben is kidolgozott figuráknak mutatta be. Napjainkban már a látvány és az ahhoz kapcsolódó üzleti érdek jól megtervezett művészi rekonstrukciói jellemzik. Szinte nincs olyan nap, hogy a világhálón ne mutatnának be egy-egy újonnan felfedezett,

4. ábra. Zdeněk Burian (1905-1981) festményei (a képen az Iguanodonon látható) napjainkban is gyakori forrásmunkának számítanak.

a világon egyedülálló és minden korábbi tudást megváltoztató lelethez kötelezően hozzátartozó rekonstrukciót. A múzeumok állandó kiállításaira készített festmények szakmai és művészi minőségét nagymértékben befolyásolja a pénz, amit viszont a látogatók száma határoz meg. Nem mindegy, hogy a kitűnő művész alkotása évente legfeljebb néhány ezer nézőt vonz, vagy a milliós látogatószámú intézményekben szolgálja az ismeretterjesztést és a szórakoztatást. A folyóiratok címlapjának reklámértékéről már nem szaporítom a szót. Mindaz, a rudabányai leletek művészi vagy kommersz rekonstrukcióinál is kimutatható (5.ábra).

Egykor egy naív újságírói kérdésre a Budapesten tartózkodó Yves Coppens, a francia akadémia tagja, a nevezetes afrikai „Lucy” egyik megtalálója, az ember-ré válás „East Side Story” elmélet megalkotója azt válaszolta, hogy „Nézze Hölgyem! A tudósok nagyon buta emberek, csak azt mondhatják, amit tudnak!”.



5. ábra. A francia L'Univers du Vivant folyóirat 1987-ben megjelent címlapján az 1985-ben felfedezett Rudapithecus koponyája alapján készült szembetűnő festmény vonzza a vásárlókat.

Sarkalatos hidroökológiai különbségek a víztér-tipológiai fogalmak értelmezésében

Dévai György

Debreceni Egyetem, TTK, Hidrobiológiai Tanszék

devai.gyorgy@science.unideb.hu

*„Jobb megvitatni egy kérdést anélkül, hogy eldöntenénk,
mint eldönteni anélkül, hogy megvitatnánk.”*

(Joseph Joubert)

Bevezető gondolatok

Joubert gondolatát szándékosan választottam dolgozatom mottójául. Pályafutásom során ugyanis mindig arra törekedtem, hogy a szakmai kérdéseket, s különösen az azok gerincét képező fogalmakat igyekezzek megalapozottan értelmezni és következetesen használni. Ez a törekvésem sokszor eredményezett komoly vitákat, amelyeknek – különösen eleinte – gyakran nem lett megnyugtató eredménye. Ennek okát kutatva arra kellett rájönnöm, hogy olykor igen nagy különbségek vannak a különböző tudományterületek által használt fogalmak értelmezésében, még olykor a hasonló, sőt néha az azonos fogalmak esetében is. Abbéli igyekezetemben, hogy megértsem vitapartnereim álláspontját, arra is rá kellett jönnöm, hogy egy-egy diszciplína hosszú idő alatt felépített, s többnyire jelentősen megszilárdult fogalomrendszerét nem egyszerű és nem könnyű megváltoztatni, sem pedig a fogalmak berögzült jelentését feladni és mással felcserélni. Különösen akkor jelent ez komoly gondot, ha az egyik szakterület szerinti indok a másik szerint nem áll fenn. Mindezekre tekintettel arra jutottam, hogy mindenkinek a saját szakterületén belül kell arra törekedni, hogy a fontosabb fogalmak értelmezésében megnyugtató konszenzus jöjjön létre, s az eltérések elfogadását vagy átvételét a másik diszciplína képviselőire kell bízni. Ilyen szemlélettel kívánok most kísérletet tenni néhány víztér-tipológiai fogalom értelmezésére.

Elvi alapozás

Nézzük először, hogy ha a hidroökológiai szakterület szemszögéből kívánom elemezni a víztér-tipológiai kérdéseket, akkor ezt milyen alapállásból kell tennem. Ennek a célnak a megvalósítására törekedve elsőként magának az ökológia szónak az értelmezése és használata körül kell rendet teremteni, függetlenül magunkat a napjainkban divatos változatoktól. A fogalmi alapozás érdekében a

földrajzi burok fogalmából kell kiindulni, amin a Földnek – mint égitestnek – a felszínén található három szféra, a geoszféra, a bioszféra és a nooszféra komplex rendszere értendő, amelynek anyagai állandó mozgásban és kicserélődésben vannak. E bonyolult kölcsönhatásokat csak akkor érthetjük meg, ha ezek összetevőit és kapcsolódásait számításba vesszük. A geoszféra, s ennek három alegysége, a szilárd kéreg (litoszféra), a vízburok (hidroszféra) és a légkör (atmoszféra) az élettelen természet sajátosságai szerint épül fel. A bioszféra az élő természetet képviseli. A nooszféra (amelyet neveznek még szocioszférának, antroposzférának is) pedig az emberi társadalomnak és az általa létrehozott és fenntartott művi alkotásoknak felel meg. Bármilyen természeti objektum átfogó tanulmányozása szempontjából is különös jelentősége van a geoszféra és a bioszféra közötti alapvető különbségeknek. A geoszféra és alegységei általában nagy tömegűek, jelentős kiterjedésűek, folytonos felépítésűek, összetételüket tekintve pedig kevésbé változatosak és viszonylag állandóak. A bioszférának viszont ezzel ellentétben relatíve kis tömegű, s csekély nagyságú, de többnyire nagyszámú alkotóelemei vannak, s ezek egy olyan laza, hálószerű szövetéket alkotnak a földrajzi burokban, amelynek összetétele mind térben és időben, mind mennyiségileg igen változatos. Mindezek értelmében a természet az anyagi rendszerek fejlődésének eredményeként kialakult, s Földünkön az ember társadalmi tevékenységétől függetlenül is létező, de azok által befolyásolni, sőt meghatározni képes dolgok, jelenségek és folyamatok összehangolt rendszerének tekinthető, amelynek két fő alkotóelem-csoportja az élettelen és az élő természet. E két alkotóelem sajátos viszonya az élettelen és az élő természet mozgásformájának különbségeiben rejlik. Az elkülönítés lényegét a mindkét mozgásforma forrását és fejlődésének alapját képező alapvető ellentmondás legfontosabb ismervében, a belső és a külső ellentmondások dialektikájának sajátos és eltérő érvényesülésében kereshetjük.

Az élettelen természet a közvetlen kölcsönhatások birodalma, azaz az élettelen természet mozgásformájának alapvető ellentmondása a külső és a belső ellentmondások direkt összekapcsoltsága. Az élettelen természet bármely adott jelensége alapvetően a külső viszonyok függvénye, azaz belső állapota közvetlenül annak a mozgásnak az eredménye, amely vele szemben külsőként jelentkezik. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a jelenség belső tartalmának nincs jelentősége, csak azt, hogy ez a belső tartalom – külső hatások esetén – semmilyen módon nem tud függetlenedni a külvilágtól, mivel a történések közvetlenül a külső hatások következményei. Az élettelen természet egyes jelenségei minden egyes reakcióban kimerülnek, így a jelenségek állandósága és önállósága viszonylag csekély.

Az élő természetre ezzel szemben a külső és a belső ellentmondások indirekt összekapcsoltsága jellemző. A biológiai jelenségek belső tartalma – az asszimiláció és a disszimiláció minden élő szervezetre jellemző alapvető ellentmondása révén – viszonylagosan és időlegesen függetlenedni tud a külvilágtól. A külvilág hatásai így általában nem közvetlenül, azaz akció-reakció formájában, hanem az élőlények anyagcsere-tevékenységén – mint áttételen – keresztül, közvetve érvényesülnek. Ez az áttétel az élő természet jelenségeinek – a külső hatásokkal szemben – bizonyos állandóságot, az élő szervezeteknek pedig viszonylagos és időlegesen önállóságot kölcsönöz.

Az elmondottakból válik igazán érthetővé, hogy miért szükséges feltétlenül külön, még hozzá egészen sajátos nézőpontból foglalkozni az élővilággal. Ez ugyanis jellegéből következően rendkívül sérülékeny, amelyet ezért a társadalmi tevékenység hatásai sokkal érzékenyebben és mélyebben érintenek, mint az élettelen szférákat. Azok általános karakterét ugyanis legfeljebb kisebb-nagyobb mértékben módosítják, a bioszférának azonban az eredeti szerkezetét és működését is veszélyeztethetik. Az "élőlény-környezet-rendszer" ugyanis nemcsak az élettelen természet és az élővilág kapcsolatát (konkurrencia), hanem az élőlények egymás közötti relációit (kompetíció) is tartalmazza, sőt még a történetiség terhére (evolúció) is hordozza. Ebből értelemszerűen következik, hogy a természet rendjébe történő bármilyen beavatkozás esetén az ökológusok szerint a legbonyolultabb felépítésű, s ezért a legsérülékenyebbnek minősülő összetevő állapotát kell meghatározónak tekinteni, azaz az élővilág (s benne az ember, mint biológiai lény!) létfenntartó rendszereinek és folyamatainak minél zavartalanabb megőrzését biztosító intézkedéseknek és beavatkozásoknak kell egyértelmű elsőbbséget élvezniük!

Tipológiaiokról és fogalmakról ökológus szemmel

Az ökológus – éppen a legfőbb ismérve, az élőlény-központúság miatt – igen sok kérdést más oldalról közelít meg, s ezért gyakran másképp is lát, mint más tudományterületek képviselői. Az élővilág bámulatossága változatossága például szinte rákényszeríti az ökológusokat arra, hogy az élőlények előfordulási helyeit pontosan definiálják és az élővilág szemszögéből csoportosítsák, vagy az olyan fogalmakat, mint például minőség, érték, jóság, hasznosítás, sajátos módon értelmezzék. Mivel ezek a nézetek korántsem közismertek, az egymás mondanivalójának kölcsönös megértése iránti igényből és szükségességből logikusan következik, hogy e fogalmak ökológiai értelmezésével is foglalkozni kell.

Minden hidroökológus tisztában van azzal, hogy az élő természet alapvető létformája a sokféleség. Amikor ugyanis a vizeket tanulmányozni kezdi, rögtön

tön ráébred, hogy mindegyik rendelkezik olyan – egyedi sajátosságok formájában megnyilvánuló – jegyekkel, amelyek alapján egymástól elkülöníthetők. Ha viszont minél több vizet megvizsgál, akkor arra is rájön, hogy a természetben nagyfokú rendezettség van, amelyet le is tud képezni, ha az egyedi egységeket különböző csoportképzési eljárásokkal közösségekké formálja. A vizek kapcsán három fő rendező elv alapján lehet csoportokat elkülöníteni, s ezzel tipológiákat alkotni, amint ezt az 1. táblázat tartalmazza.

Ökológiai (élőhelyközpontú) tipológia		
Vízi (akvatikus) élőhelyek	Vizes (szemiakvatikus) élőhelyek	Szárazföldi (terresztris) élőhelyek
Hidrogeográfiai (víztérközpontú) tipológia		
Felszíni vizek (állóvizek és vízfolyások)	Források	Felszín alatti vizek
Hidrológiai (vízforgalom-központú) tipológia		
Állandó (eusztatikus) vízforgalom	Átmeneti (szemisztatikus) vízforgalom	Változó (aszztatikus) vízforgalom

1. táblázat

A három különböző szemléletmódú, de szoros és érdemi kapcsolatban lévő tipológia fő kategóriái.

A tudományok alapvető ismérve, hogy ismeretanyaguk folytonosan gyarapszik, aminek következtében fogalomrendszerükben is időközönként kisebb-nagyobb változások, sőt olykor jelentős átalakulások (paradigmaváltások) következnek be. Ez utóbbi folyamat gyakran ütközik akadályokba, hiszen az új gondolatok nehezen hódítanak teret, ritkán mennek át gyorsan a köztudatba. Erre sajnálatos példa az ökológiai tipológián belül a vizes (szemiakvatikus) élőhelyek (angolul: wetlands) esete, amelyek elkülönítése két amerikai kutató, W.J. Mitsch és J.G. Gosselink nevéhez és úttörő jelentőségű könyvéhez (1993) fűződik. Ennek az élőhelytípusnak a képviselői napjainkra az egész Földön nagyon megfogyatkoztak, s a legjobban veszélyeztetettek közé kerültek. Hazánk szempontjából ez az élőhelytípus igen nagy jelentőségű, hiszen az ország területének jelentős részét (~45%-át) borítja, s ezt a tényt nemcsak ökológiai, hanem természet- és környezetvédelmi, sőt vízgazdálkodási és mezőgazdasági szempontból is érdemes lenne elfogadni, s a jövőt illetően komolyan fontolóra venni.

A hidrográfiai tipológián belül – az utóbbi időben, különösen az Európai Unió Víz Keretirányelvének (EU VKI, European Union 2000) bevezetését követően – nagyon kedvezőtlen nevezéktani változásnak lehettünk tanúi. Korábban két kulcsfogalommal dolgoztunk: víztér és víztest.

A víztér a földi vízkészletnek a földkéreg (litoszféra) felületi mélyedéseiben, ill. annak üreg-, hézag- és pórusrendszereiben található, s ott többnyire valamilyen jól körülhatárolható módon elhelyezkedő, s így önállóan tekinthető egysége, azaz a földkéregnek a vízzel folyamatosan kitöltött része. A víztest viszont egy-egy víztér valamilyen adottság, tulajdonság vagy szempont alapján, de többnyire küllemileg (habituálisan) is jól elkülönülő vagy elkülöníthető egységeinek megjelölésére szolgál. A víztereket a magyar nyelvben tulajdonnevek jelölik (pl. Balaton, Tisza). Víztesteknek tekinthetők például az állóvizek medencéi, a vízfolyások szakaszai, a víztereknek a nyíltvízzel, hínár- és mocsárinóvénnyel fedett részei, amelyeket a nagyobb vízterek esetében gyakran önálló tulajdonnévvel is jelölnek (mint pl. a Balaton medencéit, a Velencei-tó tisztásait, a Kunkápolnási-mocsár fenekét).

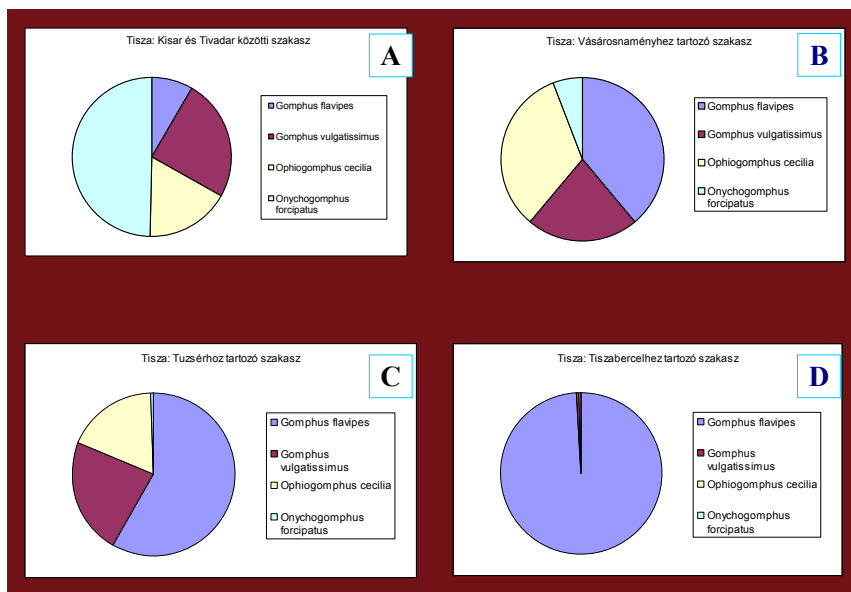
A két fogalom együttes értelmezését, s ezen belül a víztest fogalmának bennfoglaló (enkaptikus) jellegét a következő példa szemlélteti a Balaton esetében (1. ábra). A Balatonnak, mint víztérnek a medencéit víztestekként lehet értelmezni. Ugyanakkor a Középső-medencében, mint a Balaton egyik víztestében, egy újabb víztestet, a Bázsai-öblöt (a Tihanyi-félsziget nyugati szegletében) lehet elkülöníteni, amiben kétféle élőhelytípus található, a parthoz illeszkedő, sűrű mocsárinóvénnyel borított vizes (szemiakvatikus) élőhelytípus, ill. az előtte elhelyezkedő, nyíltvízzel jellemezhető vízi (akvatikus) élőhelytípus, s ezek szintén önálló víztestekként értelmezhetők. Ez a példa egyúttal azt is jól szemlélteti, hogy ha a víztér vs. víztest fogalmakat az előbbiek szerint értelmezzük, akkor a három különböző szemléletű tipológia (1. táblázat) is nagyon jól összehangolható.

Az EU VKI hazai bevezetése után a víztér fogalma itthon elméleti és gyakorlati téren is teljesen háttérbe szorult, annak a rosszul értelmezett ténynek a következményeként, hogy az angol nyelvben a víztér szónak nincs megfelelője. Az EU VKI az eredeti szövegezésében nem tiltja, sőt elismeri a nemzeti fogalom- és névhasználatok jogosultságát. Nálunk azonban a víztér sajnos annak ellenére is kiiktatódott, hogy az ebből a szempontból mérvadó hidrológiai műben (Mosonyi 1959, p. 93.) szerepel. Ökológiai szempontból viszont a két fogalom együttes és enkaptikus használata elengedhetetlen. Ezt kívánja szemléltetni a 2. ábra, ami a Tisza magyarországi felső szakaszának víztest-tagolódását tükrözi a folyamisztikotők (Odonata: Gomphidae) fajegyüttesének összetétele alapján. Az ökológus ugyanis nem csak, sőt elsősorban nem is arra kíváncsi, hogy az egyes víz-



1. ábra. A víztér és a víztest, ill. a vízi és a vizes élőhely fogalmainak egymáshoz viszonyított és egymáson belüli értelmezése.

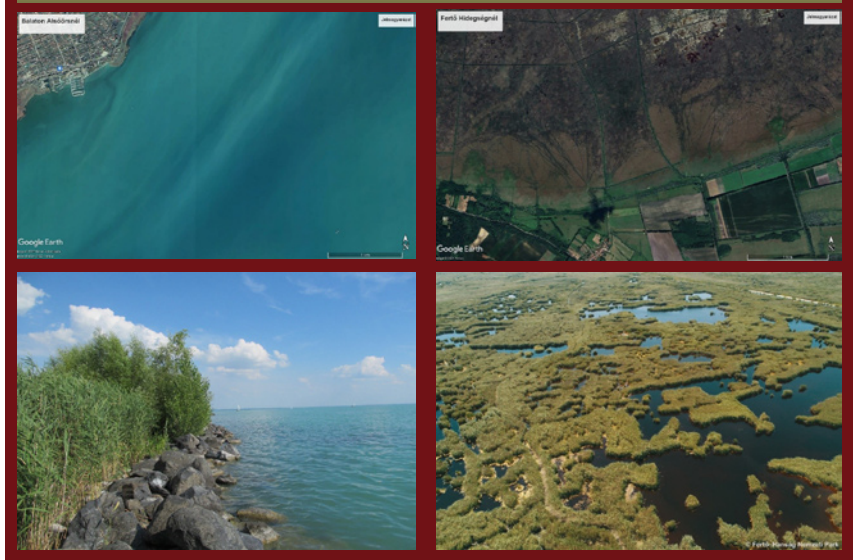
testekben milyen fajegyüttesek élnek, hanem sokkal inkább arra, hogy az adott víztérben milyen tényezők okolhatók ezeknek a víztestenként más-más összetételű fajegyütteseknek a létezéséért és adott típusú megváltozásáért. Mindez természetesen nem zárja ki az előfordulási sajátosságok különböző víztérben történő, azaz víztest-típusú összehasonlításának lehetőségét, sőt esetenként a szükségességét sem. Végül természetesen azt is meg kell jegyezni, nem biztos, hogy ez a víztest-elkülönülés, ami a szitakötőfajok előfordulását tükrözi, más élőlénycsoportra is érvényes, sőt ennek inkább az ellenkezője valószínűsíthető. Ez az élőlénycsoport-függőség – legalábbis ökológiai szempontból – szintén a víztérközpontúság nélkülözhetetlenségére utal, és ilyenkor azt se felejtjük el, hogy az EU VKI fő célja a „good ecological status” megőrzése és szükség szerinti helyreállítása, ami az élővilág figyelembevétele nélkül nem lehetséges.



2. ábra. A Tisza négy szakaszán (A: Kisar és Tivadar, B: Vásárosnamény, C: Tuzsér, D: Tiszabercel) a négy hazai folyami szitakötőfaj (az ábra sorrendjében: *Gomphus flavipes*, *Gomphus vulgatissimus*, *Ophiogomphus cecilia*, *Onychogomphus forcipatus*) átalakuláskor levetett bőreinek egymáshoz viszonyított arányai, amelyek a Tiszának, mint víztérnek a szitakötők szerinti víztesttagolódását tükrözik (Dévai et al. 2010 alapján).

A víztér fogalmának szakmai mellőzése sajnos számos esetben ad okot aggodalomra a hétköznapiak, sőt a közmédiák szóhasználatát illetően is. Itt nem egyszerűen valami bocsánatos félreértésről van szó, hanem súlyos szakmai hibáról, ami gyakran vezet komoly nézeteltérésekhez, sőt még akár diplomáciai bonyodalmakhoz is. Erre több meglehetősen példát is adódott az utóbbi időben. Az állóvizek közül ilyen a Fertő esete, amelyet többnyire Fertő-tóként emlegetnek, sajnos még szakmai berkekben is. Holott ez esetben szó sincs tóról, mint például a Balaton esetében, amelyet valóban lehet tónak, pontosabban szakmailag helyesen sekélytónak titulálni. A fertő szó a magyar nyelvben egy víztértípusnak is a neve, aminek klasszikus esete az osztrák-magyar határon fekvő állóvíz, ami a víztértípus nevét viseli, s ezért nagy kezdőbetűvel írandó. A két víztértípus közötti ökológiai szempontból igen nagy különbséget jól mutatják a 3. ábrán lévő fényképfelvételek. Érdekes, hogy a tó, mint ragadványnév, csak az utóbbi időben lett a Fertő nevéhez hozzáillesztve, mert például a térképek többségén csak Fertő néven szerepel (pl. Világatlasz 2004). Senkit ne tévesszen meg, hogy a víztér osztrák nevében (Neusiedler See) ott van a magyar nyelvben tónak megfelelő német See szó, de ez logikus is, hiszen ez rendeli hozzá a vízteret egy mellette fekvő település (Neusiedl) nevéhez (hasonlóan pl. a Velencei-tóhoz).

A Balaton és a Fertő víztér-típológiai különbségének küllemi (habituális) kifejeződése (A Google Earth, dr. Tóth Sándor és a Fertő-Hanság Nemzeti Park felvételei)



3. ábra. A Balaton és a Fertő víztér-típológiai különbségének küllemi (habituális) kifejeződése: a Balaton – víztértípusként mint sekélytő – nagy nyíltvizes területei, ill. a Fertő – víztértípusként mint fertő – nagy felületborítású, gazdag mocsárinövény-állományai.

Ugyanígy problémás több újkori névadás, amilyen például a Kiskörei-tározó esetében a megtévesztő Tisza-tó név. Érdekes volt megélnem a víztér-típológiai témakörökben járatosabb német turisták egyikével folytatott következő beszélgetést. Álltam a Poroszló és Tiszafüred közötti műút Poroszló utáni első hídjának korlátjánál, s a szitakötőket távcsöveztem. Megállt mellettem egy német rendszámú gépkocsi, a vezető lehúzta az ablakot, s miután kiderült, hogy tudok németül, felmutatott egy térképet, amin ott állt a felirat nagy betűkkel: Theiß See. Ezután azt kérdezte: Wo ist dieser See? (Hol van ez a tó?). Amire én azt válaszoltam, kimutatva a víz felé, hogy Hier! (Itt!). Erre ő azt mondta nagy csodálkozva: Aber das ist kein See! (De ez nem tó!). És milyen igaza volt, amint azt a 4. ábra is mutatja a következő oldalon.



4. ábra. A Tisza-tónak elnevezett Kiskörei-tározó Poroszlói-medencéjének látképe a 33. számú műút első hídjáról, a meder sekélységére utaló gazdag hínárnövényzettel.

A szakmailag teljesen félrevezető ragadványnevektől sajnos még kisvízfolyásaink sem mentesek. A Debrecen vízgazdálkodása szempontjából egyre fontosabb Tóció nevű kisvízfolyás neve után egyre gyakrabban lehet találkozni a patak szóval. A kisvízfolyásoknak három fő típusa van: patak, csermely és ér. Ha valaki összehasonlítja a többnyire hegyvidéki, sebes folyású, köves-kavicsos medrű, növényzetszegény patakokat a Tócióval (5. ábra), akkor rögtön rájön a tévedésre. A továbbgondoláshoz elég csak Ady Endrének a ma Romániában található Érmellék típusnévadó vízfolyásán végzett, saját megfigyelésein alapuló verssoraira gondolni („Az Ér nagy, álmos, furcsa árok, / Pocsolyás víz, sás, káka lakják...”), hogy rájövünk, ha már ragadványnevet akarunk a Tóciónak adni, akkor az nemcsak szakmai, hanem hétköznapi értelemben is csak az ér lehet.

Az állóvizek és a vízfolyások karakterének egyre inkább tapasztalható ilyen típusú félreértelmezése nem álbölcseleti (szofisztikai) kérdés, bár gyakran ennek tartják a szakma részéről kifogást emelők véleményét. Szószármazástani (etimológiai) problémának már jogosan lehet tekinteni, hiszen a magyar nyelvben ezeknek a típusjelölő szavaknak meghatározott értelme van, amint azt az ér esetében az Ady-idézet is tanúsítja. Döntő jelentősége van azonban a névhasz-



5. ábra. Egy víztér-tipológiai értelemben pataknak tekinthető kisvízfolyás (bal felső kép: a Börzsönyi Kémence-patak Bernecebarátinál), ill. a víztér-tipológiai értelemben érek számító kisvízfolyás (többi kép, Somlyai Imre felvételei: a Tócsa a Debrecenhez tartozó Józsnánál) mederszakaszai már küllemi (habituális) alapon is jól elkülönülnek egymástól.

náltnak hidroökológiai szempontból is, hiszen ezeknek a víztértípusoknak sajátos, döntően csak rájuk jellemző élőhelyi adottságai és ehhez alkalmazkodott élővilága van. Gondoljunk csak bele, hogy mennyire különböznek például egy sekélytő és egy fertő anyagforgalmi sajátosságai, vagy mennyire más egy patak vagy egy ér élővilágának fajösszetétele, amelyek a nem megfelelő névhasználat miatt súlyos tévedéseket eredményezhetnek. Ráadásul azt is tekintetbe kell venni, hogy szigorúan egy-egy adott víztértípus élőhelyi adottságaihoz és élővilágához kötöttek a velük kapcsolatos természet- és környezetvédelmi feladatok, s így a rajtuk végzett bármilyen célú antropogén beavatkozásnak is víztér-specifikus feltételrendszere van. Érdemes tehát komolyan venni Isidorus Hispalensis (ismertebb nevén Sevillai Szent Izidor) mintegy másfélezer évvel ezelőtti intelmét: „Ha valaki a nevet nem ismeri, akkor ismerete a dologról értéktelen.”

Holtág vagy holtmeder – javaslat a kételyek feloldására.

Az előbbieken néhány víztér-tipológiai össze nem illő (inkonguens) esetre igyekeztem felhívni a figyelmet, amelyek látványosak, s nemcsak szakmai, hanem hétköznapi értelemben is zavaró félreértéseket okoznak. Befejezőként egy ezeknél sokkal összetettebb és bonyolultabb esettel, a holtág versus holtmeder kérdéskörrel kívánok kissé részletesebben foglalkozni. Az ebben rejlő bizonytalanság feloldását különösen azért tartom fontosnak, mert szorosan összefügg a hazai természetvédelem és vízgazdálkodás jövőbeli, akár sorsdöntőnek is nevezhető feladataival és megoldásaival.

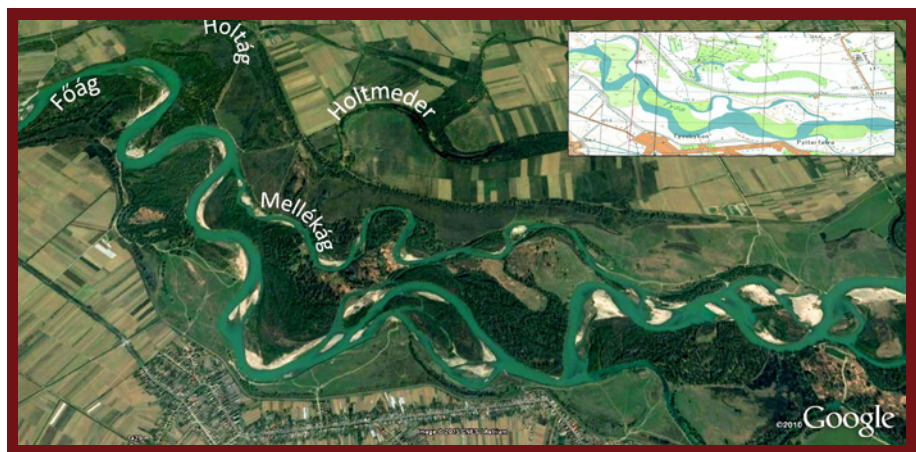
A fogalmi tisztázást leghelyesebb a 'holtág' kifejezéssel kezdeni. Sajnos ennek a szónak a jelentése nemcsak az ökológiában, hanem a vízügyi gyakorlatban sem egyértelmű (vö. Mosonyi 1959, p. 39.; Magyarország állóvizeinek katasztere 1966, p. 8., 52., ill. 3a és 3b mellékletek; Vízgazdálkodási lexikon 1970, p. 320.; Vízkészletgazdálkodási és vízikörnyezet-védelmi értelmező szótár 1980, p. 116; FELFÖLDY 1984, p. 102.; Pálfi 2001, p. 13., 15.). Ennek ellenére használata a vízügyi gyakorlatban szinte kizárólagos, s így a közéletben is egyeduralgóként honosodott meg. A földrajzi nevezéktannal rokonszenvező hidroökológiai felfogás szerint azonban ez a kifejezés csak egy csekély töredékére vonatkozik azoknak az objektumoknak, amelyekre általánosan használják. Ha a fogalmi forgatagban rendet akarunk tenni, akkor először át kell tekinteni a vízfolyások medertípusait. Ha egy vízfolyás két vagy több ágra oszlik, akkor az ágak egyikét, amelyik a legnagyobb sebességű pontokat összekötő ún. sodorvonallal jellemezhető, főágnak nevezzük. A többi oldalágnak tekintjük, amelynek két típusa van: a mellékág és a holtág. A mellékág a főággal állandó kapcsolatban van, s benne a víz még kisvízállás idején is folyamatosan áramlik, ezért a főággal együtt eupotamális élettípusnak tekinthető (DÉVAI et al. 2001). A holtág és a holtmeder fogalmának megítélésénél nagyon körültekintően kell eljárni. A holtág (nevezik még fattyúágnak is) olyan mederszakaszt jelent, ami még nem vált le a fő- vagy a mellékágról, de fenekének küszöbszintje a kitorkollás helyén azokénál magasabb, s így csak időszakosan, általában a középvízszintet meghaladó vízállás idején áramlik benne folyamatosan a víz (NÉMETH 1954), s ezért parapotamális élettípusnak minősül (DÉVAI et al. 2001). A holtmeder valamilyen mederrészletnek (pl. egy túlfellett kanyarulatnak, egy parti dűnével elgátolt mellékágnak, egy erősen feltöltődött holtágnak) a természetes leválása (lefűződése) vagy mesterséges átvágása nyomán létrejött képződmény (ANGELIER 2003; LÓKI és SZABÓ 2006; Természettudományi lexikon 1966, p. 247.), ami csak nagyobb, a medret elhagyó áradások alkalmával kap vízutánpótlást (döntően elöntés jelleggel). Holtmedernek kell továbbá tekinteni a vízfolyás által elhagyott korábbi medret is, mint például az övzátonyokkal elválasztott surrantókat, sarlómedreket és

sarlólaposokat (GÁBRIS és LÓCZY 2013), amelyekből gyakran szép sorozat található egy-egy nagyobb folyókanyar öblözetében (pl. Rakamaz és Tiszanagyfalu határában a Tisza és a Nagy-morotva által körülölelt Morotva-közben).

A holtmedreknek vízforgalmi szempontból két fő típusa van (DÉVAI et al. 2001). A hullámtéri (töltéseken belül elhelyezkedő) holtmedrek alkalmanként kapcsolatba kerülnek a vízfolyással, mivel ezeket az áradások alkalmával a főmedret elhagyó víz képes elönteni, s ezért ezek a plesiopotamális élettájtípushoz tartoznak. A mentett oldali (töltéseken kívüli) vagy a korábbi (elhagyott) ártéri felszíneken fekvő holtmedrek viszont teljesen el vannak szigetelődve a vízfolyástól, így abból felszíni úton nem kapnak vízutánpótlást, s ezért a paleopotamális élettájtípust képviselik.

A fő medertípusok számottevően eltérő élőhelyi feltételeket jelentenek az élőlények számára. Ezek kialakításában a főágak és a mellékágak esetében az áramlás különböző erősségének, a holtágaknál pedig emellett az áramlás időszakosságának van döntő szerepe (hiszen emiatt időlegesen a holtágakban is pangóvízi viszonyok alakulhatnak ki). A holtmedreknél viszont egyértelműen az állóvízi jelleg van túlsúlyban, amit az alkalmankénti elöntés sem képes meghatározó módon befolyásolni. A természetes úton keletkezett holtmedreket morotvának célszerű hívni (a népi szóhasználatnak megfelelően), a mesterségesen (emberi tevékenységgel) létrehozott holtmedreket a vízfolyás neve elé illesztett „Holt-” szóval érdemes jelölni, természetesen mindkét esetben az adott topográfiai egység nevével kiegészítve (mint pl. Nagy-szegei-morotva, Boroszló-kerti-Holt-Tisza).

A XIX. század közepéig a Tiszai-Alföldön igazi vadvízország létezett, ahol valamennyi előbbi képződménnyel számos helyen lehetett találkozni. A szabályozások nyomán azonban ezek döntő többsége teljesen eltűnt, s napjainkban már csak a Felső-Tisza ukrajnai szakaszán lehet a maradványaikat az eredetihez közeli állapotban megtalálni. Kolozsvári Istvánnak az itteni odonatólogiai kutatásai (Kolozsvári et al 2015, Kolozsvári 2015; Kolozsvári és Dévai 2021a, 2021b) viszont lehetőséget adnak arra, hogy a négy fő medertípus (főág, mellékág, holtág, holtmeder – 6.–7. ábrák) közötti viszonyt konkrét hidroökológiai példával bemutassuk. A szitakötő-fauna összetételét a Tiszának a Tiszaújlak és Huszt közötti ukrajnai szakaszán bemutató 8. ábra világosan mutatja, hogy a főágban és a mellékágakban egyértelműen a vízfolyásokra jellemző fajegyüttesek dominálnak. A holtágakban már megjelennek az állóvizet benépesítő fajok képviselői, a holtmedrekben viszont ezek adják a fajegyüttes döntő többségét. Ezeket a viszonyokat a matematikai-statisztikai értékelés is egyértelműen alátámasztja, amint azt például a klaszterdiagram is tanúsítja.



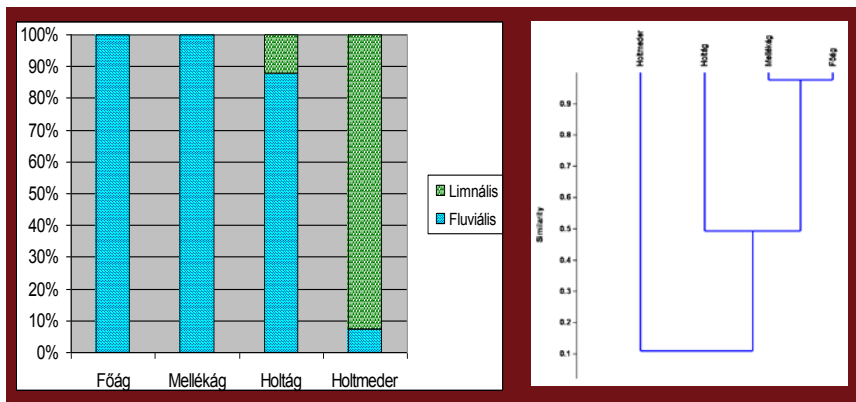
6. ábra. A Tiszának az ukrajnai (Tiszaújlak és Csomafalva közötti) szakaszán még meglévő, unikális jelentőségű, fonatosan szövevényes (anasztomizáló) mederstruktúrája, az odonatólógiai vizsgálatok objektumait képező főbb medertípusok megjelölésével a műholdfelvételen (Kolozsvári 2015 alapján, módosítva).

A fő medertípusok egy-egy példája

(Kolozsvári István fényképfelvételei)



7. ábra. A fő medertípusok egy-egy jellegzetes példája a Tisza ukrajnai (Tiszaújlak és Huszt közötti) szakaszán.



8. ábra. A szitakötő-fauna összetételének különbözősége az élő- és holtmedertípusoknál a Tisza ukrainai (Tiszaújlak és Huszt közötti) szakaszán (Kolozsvári István lárvá- és exuviumfelmérései alapján).

Ennek a felfogásnak a jogosságát egyértelműen megerősítették azok a vizsgálataink, amelyeket a 78 felső-Tisza-menti holtmedrek közül kiválasztott 11 holtmeder ökológiai szemléletű részletes felméréseivel kaptunk. Az itteni, eltérő korú és feltöltődési állapotú holtmedrek a szukcesszió különböző stádiumában vannak, s a fő állóvízi víztértípusok közül a kopolyától kezdve a kistavakon át a mocsarakig mindháromnak a képviselői megtalálhatók közöttük, amint azt a következő oldalon a 9. ábra is mutatja. Kapcsolódva az ukrainai odonatológiai vizsgálatokhoz azt is megállapítottuk, hogy az itteni, állóvízi jellegű szitakötő-fajegyüttesek tökéletesen fedésbe hozhatók ezeknek az állóvízi víztértípusoknak az ökológiai sajátosságaival (10. ábra).

A 78 felső-Tisza-menti holtmederből részletesen vizsgált 11 holtmeder ökológiai szemléletű víztér-típológiai besorolása

Víztér-típológiai kategóriák (állóvizeken belül):

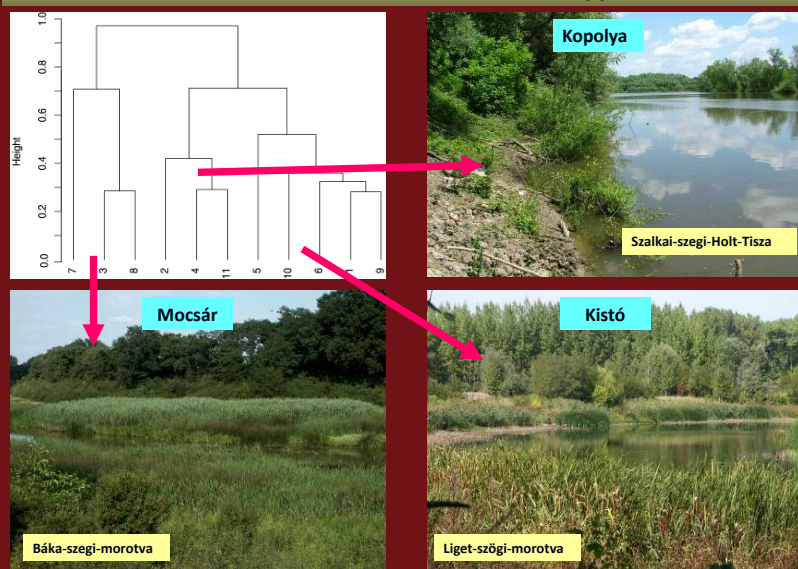
- Kopolya (3 holtmeder)
- Kistó (5 holtmeder)
- Mocsár (3 holtmeder)



9. ábra. A Tisza magyarországi felső szakaszán lévő, 11 részletesen vizsgált holtmeder ökológiai szemléletű víztér-típológiai besorolása a felszíni vizek állóvíz kategóriájában, és a típusokhoz tartozó egy-egy jellegzetes víztér látképe.

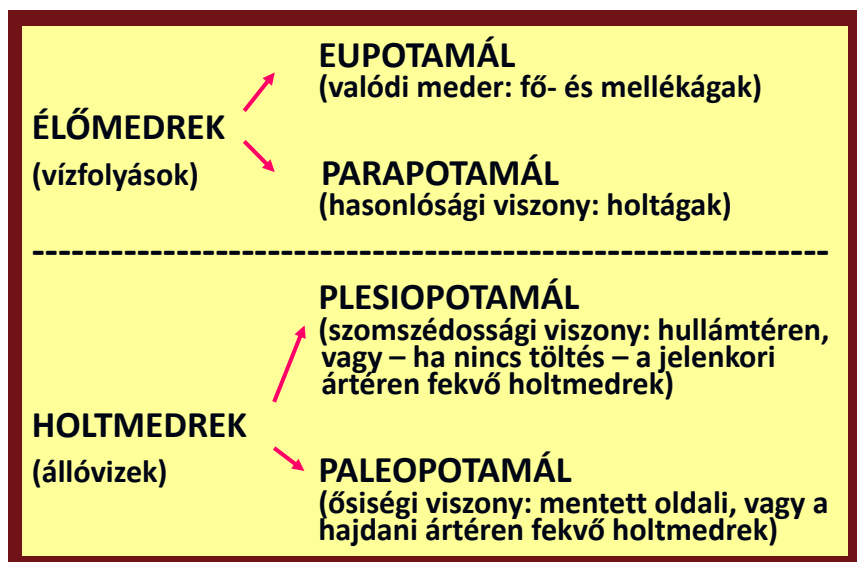
A holtág és a holtmeder fogalmak összemosása tehát a 'szokásjog' alapján a felszíni vizek két alapvető típusa (az állóvizek és a vízfolyások) közötti különbség semmibe vételét, s így az ökológiai szemlélet durva megsértését jelenti. A holtágak ugyanis egyértelműen a vízfolyásokhoz tartozó, azaz a fluviális rendszeren belül értelmezhető objektumok, míg a holtmedrek kétségen kívül az állóvizek közé sorolhatók, tehát a limnális rendszerbe tartoznak. Ez a megkülönböztetés akkor is érvényes, ha a folyamok és a folyók élettájának részletesebb tagolását (11. ábra) tekintjük hivatkozási alapnak vagy tájékozási szempontnak.

A 11 holtmeder csoportosítása klaszteranalízissel a szitakötő-fauna összetétele alapján



10. ábra. A Tisza magyarországi felső szakaszán lévő, 11 részletesen vizsgált holtmeder csoportosítása klaszteranalízissel szitakötő-faunájuk összetétele alapján, a típusokhoz tartozó egy-egy jellegzetes víztér látképével.

A Tisza vízrendszerében ökológiai szempontból a holtágak elhanyagolhatók, hiszen csak néhány maradt meg közülük, s azok sem jelentősek. Annál inkább azok a holtmedrek, amelyekből igen sok van, csak a hazai Felső-Tisza-szakaszon 78-at azonosítottunk. Ezek közül több, különösen a „szentély” jellegűek, még őrzik a régi vízi világ tájképi értékeit, kiemelkedően gazdag és a teljes szukcessziós sorozat megléte révén rendkívül változatos élővilággal. Így nemcsak hazai, hanem európai szempontból is kiemelkedő jelentőségűek, s megőrzésük azért is különösen fontos, mert újraképződésükre napjainkban már alig van esély. Ugyanakkor a hazai vízgazdálkodás előtt álló komoly kihívások teljesítése szempontjából nagyon lényeges, hogy további sorsukról milyen szakmai szemléletmód alapján születnek döntések.



11. ábra. A folyamok és folyók élettájának (potamál) tagolódása ökológiai nézőpontból.

Dolgozatom zárásaként feltétlenül hangsúlyozni szeretném, hogy az itt kifejtett fogalmi témakörökben következesen az ökológia tudományos szemléletmódját igyekeztem képviselni. Emellett törekedtem felhívni a figyelmet arra is, hogy ezekben az esetekben nem csak valamilyen szűk szakmai belügynek tekinthető nézetkülönbségekről van szó, hanem olyanokról, amelyeknek komoly és gyakran széles körű társadalmi-gazdasági következményei is lehetnek. Tettem ezt azzal a céllal, hogy a fogalmi tisztázást, a más szakterületekkel való együttgondolkodást és az indokolható társadalmi-gazdasági hasznosításra való felkészülést elősegítsem.

Irodalom

Angelier, E. 2003: Ecology of streams and rivers. – Science Publishers Inc., Enfield, XI + 215 pp.

Dévai Gy. – Nagy S. – Wittner I. – Aradi Cs. – Csabai Z. – Tóth A. 2001: A vízi és a vizes élőhelyek sajátosságai és tipológiája. In: Böhm A.–Szabó M. (szerk.) Vizes élőhelyek: a természeti és a társadalmi környezet kapcsolata. In: Szabó M. (szerk.) Tanulmányok Magyarország és az Európai Unió természetvédelméről. – ELTE-TTK & SZIE-KGI & KöM-TvH, Budapest, p. 11–74.

European Union: 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. – Official Journal of the European Communities L327: 1–72.

- Felföldy L. 1984: Hidrobiológia – szavakban. In: Vízügyi hidrobiológia 13. – VGI, Budapest. 250 pp.
- Gábris Gy. – Lóczy D. 2013: 2.4. A felszínen lefolyó víz munkája. In: Gábris Gy (szerk.): Általános természetföldrajz II. – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, p. 142–179.
- Kolozsvári I. 2015: A Tisza szitakötő-faunájának jellemzése a Tiszaújlak és Huszt közötti szakaszon. Doktori (PhD) értekezés. – Kézirat. Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola, Debreceni Egyetem, Debrecen, 169 pp.
- Kolozsvári, I. – Szabó, L.J. – Dévai, Gy. 2015: Dragonfly assemblages in the upper parts of the River Tisza: a comparison of larval and exuvial data in three channel types. – *Acta zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 61/2: 189–204.
- Kolozsvári I. – Dévai Gy. 2021a: Irodalmi adatok Kárpátalja szitakötő-faunájához (Odonata). – *Studia odonatol. hung.* 21: 5–41.
- Kolozsvári I. – Dévai Gy. 2021b: Új adatok Kárpátalja szitakötő-faunájához (Odonata). – *Studia odonatol. hung.* 21: 43–62.
- Lóki J. – Szabó J. 2006: A külső erők geomorfológiája. – Debreceni Egyetem Kossuth Egyetemi Kiadója, Debrecen, 223 pp.
- Magyarország állóvizeinek katasztere. In: Magyarország hidrológiai atlasza. IV. sorozat: Állóvizek 1.– Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Budapest, 1962, 70 pp., 6 melléklet.
- Mitsch, W.J. – Gosselink, J.G. 1993: Wetlands. 2nd edition. – Van Nostrand Reinhold. New York. XIII + 722 pp.
- Mosonyi E. (szerk.) 1959: Hidraulika és műszaki hidrológia. In: Műszaki értelmező szótár 3. – Terra, Budapest, 156 pp.
- Németh E. 1954: Hidrológia és hidrometria. Egyetemi tankönyv. – Tankönyvkiadó, Budapest, 662 pp., XXXII tábla, 1 melléklet.
- Pálfai I. (szerk.) 2001: Magyarország holtágai. – Közlekedési és Vízügyi Minisztérium, Budapest, 232 pp.
- Természettudományi lexikon. Harmadik kötet Gy – K. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 1966, 992 pp.
- Világtalasz, országlexikonnal és tematikus fejezetekkel. – NYÍR-KARTA Bt., Nyíregyháza, 2004, 615 pp.
- Vízgazdálkodási lexikon. – Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1970, XII + 876 pp., 6 színes melléklet, XVI képtábla.
- Vízkezelésgazdálkodási és vízikörnyezet-védelmi értelmező szótár. – Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet, Budapest, 1980, 352 pp.



Az elnökség és a megnyitó. Szöllősi Nagy András, Sótónyi Péter, Forrai Judit, Tardy János
Boros G. László Szarka László Csaba





Kordos László



Dévai György



Bergmann Annamária

Miklós László



Sümegei Pál





Kőrösi Mária



Sótonyi Péter és Forrai Judit





Bizonyosságok és bizonytalanságok a tudományban II.

Társrendező

Magyar Természettudományi Múzeum

A Konferenciasorozat szervezői

Prof. Dr. Dévai György, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály elnöke

Prof. Dr. Gyulai Ferenc, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály társelnöke

Dr. Tardy János, PhD, c. egyetemi tanár
az MTT üv. elnöke

A Konferencia fővédnöke

Dr. Réthelyi Miklós

az MTA doktora, az UNESCO Magyar Nemzeti Bizottság elnöke

2024. március 19.

Magyar Természettudományi Múzeum – Semsey-terem
1088 Budapest, Ludovika tér 2-6.



PROGRAM

- 10:00 **Bevezető gondolatok, köszöntő**
Dr. Tardy János, PhD, c. egyetemi tanár,
az MTT üv. elnöke

Előadások I.

- Levezető elnök: **Prof. Dr. Dévai György** ökológus, hidrobiológus,
professor emeritus, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály elnöke
(Debreceni Egyetem, TTK, Hidrobiológiai Tanszék)
- 10:15–10:30 **Dr. Ferencz Orsolya**, PhD, villamosmérnök,
úrkutatásért felelős miniszteri biztos
(Külgazdasági és Külügyminisztérium, Úrpolitikáért
és Úrtevékenységért Felelős Főosztály)
„Burokban született emberiség.”
- 10:30–10:45 **Prof. Dr. Harangi Szabolcs** geológus, vulkanológus,
egyetemi tanár, az MTA levelező tagja
(ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet,
HUN-REN-ELTE Vulkanológiai Kutatócsoport)
*„Vulkánkitörések és földrengések előrejelzése
– esélyek a bizonytalanságban.”*
- 10:45–11:00 **Prof. Dr. Kerekes Sándor** közgazdász, az MTA
doktora, professor emeritus, az MTT alelnöke
(Budapesti Corvinus Egyetem,
Fenntartható Fejlődés Intézet)
„Az ökológia és az ökonómia vadházassága”
- 11:00–11:20 Kérdések, hozzászólások és válaszok
- 11:20–11:40 Kávészünet

Előadások II.

Levezető elnök: **Dr. Mezőszentgyörgyi Dávid**, PhD, agrármérnök, egyetemi docens, intézetigazgató (Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem)

11:40–12:00 **Prof. Dr. Gyulai Ferenc** archaeobotanikus, az MTA doktora, professor emeritus (Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet)

*„Tisztán vagy keverten a búzát?
Archaeobotanikai párhuzamok.”*

12:00–12:15 **Prof. Dr. Heltai Miklós** okl. agrármérnök, az MTA doktora, intézetigazgató, egyetemi tanár (Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet)

*„Miért természetvédelem a vadgazdálkodás?
Konfliktusok és együttműködés.”*

12:15–12:30 **Tóthné Dr. Maros Katalin**, PhD, etológus

„Válogatós tyúkok, kíváncsi disznók, érzelmes marhák, avagy a nagyüzemi állattartás kihívásai.”

12:30–12:45 **Dr. Tóth Endre Kristóf** agrárkémikus mérnök, ny. laboratóriumvezető, c. egyetemi docens

*„Bizonyosságok és bizonytalanságok
a növényorvoslásban.”*

12:45–13:15 Kérdések, hozzászólások és válaszok

A burookban született emberiség

Ferencz Orsolya

Külgazdasági és Külügyminisztérium, Űrpolitikáért és Űrtevékenységért Felelős Főosztály
orsolya.ferencz@mfa.gov.hu

Az űrtevékenység alapkérdései

Az űrtevékenység mára civilizációnk fontos alapkövévé vált. A társadalomban ennek ellenére még mindig gyakran felmerülő kérdés, hogy az űrtevékenység és az űr kutatás fontos-e egyáltalán, esetleg pusztán az államok katonai tevékenységének része-e csupán? A manapság gyakran fel-felbukkanó tévhitek és összeesküvés elméletek sajnos e téren is éreztetik káros hatásait, és egyesek még mindig gyanakvással tekintenek az űrtevékenységre, valamiféle „titkos hatalmi összeesküvést” gyanítva e tevékenység mögött.

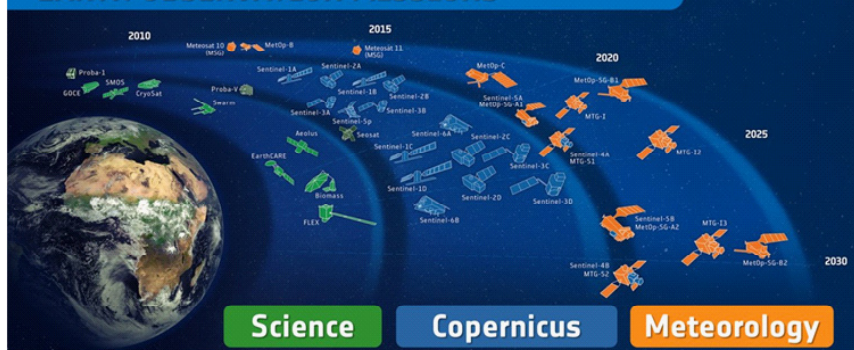
Más megközelítésből, de szintén gyakran tárgya az űrtevékenységgel kapcsolatos vitáknak az, hogy vajon a terület csak a gazdag országok, nemzetek presztízs játéka-e, vagy fontos társadalmi problémák megoldásának hatékony eszköze? Filozófiai síkról is hallani szkeptikus hangokat, amelyek felteszik a kérdést; van-e jogunk a világűr kutatására, az űrrepülésre, űrtevékenységre, miközben megoldatlan szociális, környezeti problémák sorával sem tud megbirkózni az emberiség?

A fenti dilemmákra azonban magabiztos válaszokkal rendelkezünk. Az elmúlt évtizedekben kiépülő technoszféra és annak szerves részeként az űrtevékenység nélkül ma a társadalmaink működtetése nem lenne lehetséges. A 20. század második felétől kezdve egészen napjainkig az űr kutatás a világban végbemenő technológiai robbanás egyik hajtómotorja. Az űrtevékenységnek ugyan vannak hangsúlyos katonai és biztonságpolitikai vonatkozásai is, de az emberiség szabad választása, hogy milyen célra használja ki a világűrben rejlő lehetőségeket. Fontos kiemelni, hogy az űrtechnológia számos piaci szolgáltatás alapvető infrastruktúráját biztosítja, mint például a hírközlés, navigáció és a földmegfigyelés.

A közeli jövőben létrejövő holdbázisok és űrbányászati megoldások tovább fogják növelni az űrszektor jelentőségét.

Nyilvánvaló tehát, hogy az emberiségnek nemcsak joga van kihasználni az űrtevékenységben rejlő lehetőségeket, hanem ezzel egyenesen hozzá is tud járulni az társadalom jólétéhez és a fejlett emberi civilizáció és a bioszféra fennmaradásához.

ESA-DEVELOPED EARTH OBSERVATION MISSIONS



A magyar űrtevékenység múltja és jelene

Az űrkutatás és űrtevékenység nemcsak a nagyhatalmak privilégiuma. Számos Magyarországhoz gazdaságilag és méretében hasonló ország tesz komoly erőfeszítéseket űrszektora fejlesztése érdekében.

A magyar űrkutatás kezdete egészen Bay Zoltán 1946-os Hold-radar kísérletéig vezethető vissza. E kísérlet eredményeként a világon másodikként sikerült megmérni a Föld és a Hold közti távolságot. Bay Zoltánék a világon elsőként lettek kész legendás radarberendezésükkel, de Budapest 1944-1945-ös ostroma miatt kísérletük tetemes késést szenvedett, így amerikai kutatók megelőzték őket a mérés elvégzésében. Azonban Bayék technológiai megoldása, a korrelációs vételtechnika kifejlesztése forradalmi volt, így kísérletük világraszóló eredménnyel zárult.

A magyar űrkutatás másik nagy mérföldköve, hogy az 1970-es évek végén két magyar űrhajóst képeztek ki az Interkozmosz program keretében, Farkas Bertalant és Magyarai Bélát. 1980-ban Farkas Bertalan lett az első magyar űrhajós, Magyarország pedig hetedikként lépett azon nemzetek sorába, akik embert küldtek a világűrbe. A misszió keretében tudományos kutatómunkát végezhetett a Szaljut-6 űrállomás fedélzetén.

Farkas Bertalan űrrepülésének köszönhető, hogy már az 1970-es évek óta alkalmaznak magyar eszközöket a világűrben.

A 2010-es évektől kezdve magyar egyetemi csoportok több kis- és pikoműholdat is össze tudtak állítani és sikerrel működtetni, ilyen a MaSat, a SMOG sorozat, az ATL-1 és az MRC-100.

2018 óta a magyar űrpolitikát és űrtevékenységet a Külgazdasági és Külügyminisztérium felügyeli. A magyar űrszektor az elmúlt öt évben jelentős növekedésen ment keresztül, amit nagy mértékben segített a KKM széles diplomáciai hálózata, illetve külügyi és külgazdasági tevékenysége. Magyarország 2018 óta érdemben növelte az Európai Űrgynökségben (ESA) való szerepvállalását.

Magyarország Űrstratégiáját 2021-ben fogadta el a kormány. A KKM által hosszas előkészítést követően összeállított stratégiai dokumentum jövőképe az, hogy Magyarország fontos szereplője lehessen a nemzetközi űrtevékenységnek, haszonélvezője mind társadalmi, mind gazdasági hatásainak. Továbbá cél az is, hogy hazánk részt vegyen nemzetközi együttműködésekben, és magyar szereplők képessé váljanak ipari beszállítói láncokba belépni.

Az európai államok többségéhez hasonlóan Magyarország is meghatározta a stratégia azon sarkalatos pontjait, melyek kijelölik az ország képességeit, illetve a jövőbeni fejlődés irányait az űrkutatás és űrtevékenység területén.

Az Űrstratégiának három fő célkitűzése van:

1. Az űrszektorban rejlő, a nemzetgazdaság egészét érintő innovációt és fenntartható növekedést ösztönző lehetőségek kiaknázása.
2. Magyarország nemzetközi szerepének erősítése, kapcsolatainak szélesítése, illetve a koordináció szervezeti kereteinek megerősítése.
3. Az űrszektor prosperitásához elengedhetetlen, tudásalapú társadalmi és gazdasági feltételek, és az infrastrukturális háttér fejlesztése.

Konklúzió

Az fentiek alapján egyértelmű, hogy az emberiség egyre jobban támaszkodni fog a világűr erőforrásai és az űrszektor technológiai megoldásaira. Ez lehetővé teszi, hogy jobban megértsük a Föld működését, és ezáltal megóvjuk azt a bolygót, amely ismeretünk szerint egyedül alkalmas az emberi létezésre. Más megoldás nem tűnik kivitelezhetőnek.

Az emberes Hold- és Mars utazások jelentősége hatalmas. Ugyanakkor a Föld az egyetlen olyan hely, ahol az emberi civilizáció képes megmaradni. Az űrkutatás és űrtevékenység nélkül a klímaváltozás, az erőforrás szűkösség és a szociális problémák kezelése lehetetlenné válna, így mindannyiunk közös érdeke az, hogy az űrszektor eredményeire támaszkodni tudjunk.

Vulkánkitörések és földrengések – előrejelzések a bizonytalanságban

Harangi Szabolcs

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Közettan-Geokémiai tanszék és MTA–HUN-REN CSFK Lendület PannonVulkán Kutatócsoport, Földtani és Geokémiai Intézet, HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont

harangi.szabolcs@ttk.elte.hu

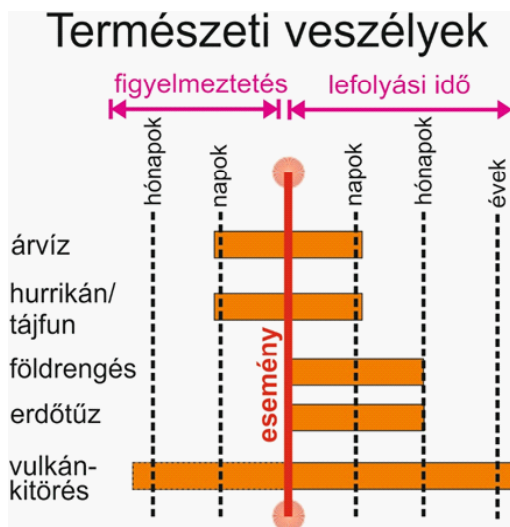
Bevezetés

A földrengések és vulkánkitörések a Föld olyan természeti folyamatai, amelyek súlyos károkat képesek okozni a társadalomban. Az ilyen események pontos előrejelzése nem lehetséges. Fontos itt megkülönböztetni az előrejelzést (angolul *'forecast'*) és az előre meghatározást (angolul *'predict'*), az utóbbit nevezhetjük megjövendölésnek vagy megjósolásnak is. Az előrejelzés egy valószínűséget jelent arra vonatkozóan, hogy egy potenciálisan veszélyes természeti esemény bekövetkezik. Például, előrejelzés az, ha azt halljuk, hogy *'holnap Budapesten nagyobb mint 50% az esélye annak, hogy heves zivatar lesz'*. Vagy a témánál maradva: *'Annak valószínűsége, hogy ezen a területen a következő évben egy >4 M földrengés lesz, 0.0003%'*. Azért, hogy lássuk a különbséget, mit jelent az előre meghatározás, vagy megjövendölés ugyanerről az eseményről: *'Ezen a területen a következő hét elején egy >4M földrengés lesz'*. Talán érezhető a bizonytalanság és bizonyosság a két állítás között.

A természeti folyamatok között a földrengések és vulkánkitörések bekövetkezését nem lehet megjósolni. Ez azt jelenti, hogy nem lehet előre megmondani, hogy pontosan mikor, pontosan hol és pontosan milyen esemény fog történni. A társadalom szempontjából, ha a háromból csak egyetlen kérdésre nem tudunk jó választ adni, az már problémát jelenthet és ez befolyásolja a lehetséges társadalmi válasz, intézkedés hatékonyságát. Be kell azonban látni, hogy mind a három választ nem tudjuk tudományos alapossággal megadni. Ugyanakkor e tanulmányban azt is hangsúlyozom, hogy egyedül a tudomány képes választ adni arra, hogy ez miért nem lehetséges, egyedül a tudomány képes arra, hogy a társadalom felé bemutassa, hogy miképpen zajlanak ezek a természeti folyamatok, milyen lehetőségek vannak, milyen felkészülést lehet ezekre tenni és fontos azt is megérteni, hogy az előrejelzés is mennyit segíthet.

Az előrejelzés, bár ad egyfajta bizonytalanságot a valószínűségi mutató által, azért jelez annyit, hogy fennáll egy veszély és ezért szükséges vele foglalkozni. A tudás és a felkészülés – ez az, ami a bizonytalanságban esélyt és lehetőséget ad, hogy csökkentsük a károkat, hogy csökkentsük a katasztrófális helyzetet. Az alábbi tanulmányban először tömören összefoglalom a földrengések és vul-

kánkitörések lefolyását és okát, amit a bolygónkon különlegesen zajló lemez-tektonikai folyamatok alakítanak. Ezt követően röviden bemutatom, hogy mit jelent a veszély és veszélyeztetettség, a kockázat, ez hogyan jelentkezett az elmúlt egy évtized eseményein. Néhány példán keresztül tárgyalom azt, hogy egy adott helyzetben mi a bizonytalansága és bizonyossága az előrejelzésnek, mit lehet tenni akkor is, ha a három kulcskérdést a tudomány nem tudja pontosan megválaszolni.



1. ábra. Földrengések és vulkánkitörések jellemzője a figyelmeztetési és lefolypási időtartamot tekintve, egyéb természeti veszélyekkel való összehasonlításban (USGS ábra alapján).

Földrengések

Földrengésről akkor beszélünk, amikor hirtelen megrázkódik a földfelszín. Ennek oka, hogy a mélyben a hosszú ideig felhalmozódó feszültség hatására olyan kőzetelmozdulás történik, ami jelentős energiát szabadít fel. A feszültséget lemeztektonikai folyamatok okozzák: összenyomás, széthúzás. A kőzettestben ekkor nő a tárolódó rugalmassági, avagy elasztikus energia (ez a potenciális energia egy formája). Végül ennek következtében elmozdulnak a kőzettestek egymás mellett, a tárolódott energia hirtelen felszabadul, ami úgynevezett szeizmikus hullámokban terjed. Ennek különböző fajtái vannak. A Föld belsejében kompressziós, azaz longitudinális hullámformában terjed leggyorsabban az energia. Ezeket nevezzük p-, azaz primér, elsődleges hullámoknak, mivel ezeket lehet először érzékelni a műszerekkel. A nyíróhullámok, azaz transzverzális hullá-

mok lassabban terjednek, ezeket s (secondary), azaz másodlagos hullámoknak nevezzük, mert a műszerek később érzékelik beérkezésüket. Fontos megjegyezni, hogy a p-hullámok minden közegben (szilárd, folyékony, gáz) terjednek, az s-hullámok, azonban csak szilárd anyagban. Mivel a földképenyben mind a p-, mind az s-hullámok terjednek, innen tudjuk, hogy a földképeny szilárd halmazállapotú. A Föld belsejében csak a földmag külső része folyékony, itt az s-hullámok nem terjednek. Ezt onnan is tudjuk, mivel a földfelszínen lesz egy árnyékvonal, ahova nem érkeznek be s-hullámok.

A szeizmikus hullámok terjedési sebességét a közeg fizikai tulajdonságai határozzák meg. Kőzetekben gyorsabban terjednek a szeizmikus hullámok, mint folyadékokban vagy gázban. A szilárd anyagban elsősorban annak mechanikai tulajdonsága határozza meg a terjedési sebességet, azaz a kőzetanyag mennyire mereven vagy rugalmasan viselkedik. Minél merevebb, annál nagyobb a terjedési sebesség. A sűrűség fordítottan arányos a szeizmikus sebességgel. Ahogy megyünk egyre mélyebbre a Föld belsejében a kőzetek sűrűsége növekszik, azonban az összenyomhatóságuk, merevségük jobban nő így összességében a földrengéshullámok sebessége is nő. Ezt a mechanikai tulajdonságot befolyásolja a hőmérséklet is. Magasabb hőmérsékleten csökken a kőzet merevsége, ami miatt lassabb a terjedési sebesség. A p-hullámok 5–14 km/másodperc sebességgel terjednek a Föld belsejében, míg az s-hullámok másodpercenként 3–7 kilométert tesznek meg. Ez azt jelenti, hogy amennyiben Japánban történik egy nagy földrengés, annak p-hulláma mintegy 23 perc alatt Magyarországon is észlelhető (8400 km közvetlen távolsággal és átlag 6 km/mp sebességgel számolva). Persze a szeizmikus hullám energiája jelentősen csökken útközben. A földképenyben az energiacsökkenés 1000 kilométeren mintegy harmada a kiindulási energiának.

A földfelszínen okozott rázkódásért azonban nem a p- és s-hullámok a felelősek, hanem az úgynevezett felületi hullámok, ezek okozzák a károkat. Ezek sebessége kisebb, mint az s-hullámoké. Az L-hullámok (L=Love) vízszintes irányban okoznak mozgást, azaz ide-oda rázkódtatják a felszínen lévő objektumot, míg az R-hullámok (R=Rayleigh) olyanok, mint az óceán hullámok, azaz függőleges mozgást is végeznek és emiatt ezek különösen nagy kárt tudnak okozni.

Földrengés során kőzettest elmozdulás történik, jellemzően több kilométer mélységben. Az elmozdulás jellege lényeges, amit a felhalmozódó feszültség határoz meg, erről a lemeztekonikai fejezetben írok. Egy óceáni, vízzel fedett területen egy felszínre is feljutó hirtelen feltolódásos elmozdulás megmozgatja az óceánvizet és szökőárat indíthat el. Nem minden kőzetelmozdulás érinti azonban a földfelszínt, az esetek többségében az elmozdulás több kilométer mélyen történik, ez fizikailag nem látható a földfelszínen (azonban a szeizmikus

hullámok eljutnak!). Az energia felszabadulással járó közetelmozdulás mélységét nevezzük hipocentrumnak, az ennek függőlegesen felszínre vetített pontját pedig epicentrumnak. Vannak azonban olyan földrengések is, amikor nem egyetlen „pontban” zajlik az elmozdulás, hanem egy akár több száz kilométer hosszú vető mentén.

A földrengés pusztító hatása sok mindentől függ, így a közetelmozdulás során felszabadult energiától (ezt fejezi ki a földrengések nagyságát leíró magnitúdó), a hipocentrum mélységétől (minél mélyebben van, annál szélesebb területet érinthet), az epicentrumtól való távolságtól (általánosságban véve $1/\text{távolság}$ vagy távolságnégyzet a csökkenés mértéke), a felszíni hullámok kilengésétől (amplitúdójától) és jelentős mértékben a térség geológiájától, azaz milyen képződmények vannak közvetlenül a felszín alatt. Laza talaj, folyóvízi üledékes képződmények felerősíthetik a rázkódást, azaz a szeizmikus hullámok amplitúdóját és ez jelentős károkat képes okozni, akár nagy, több száz, vagy akár 1000 km távolságban is, amire számos példa van (Mexikóváros, Mianmar-Burma, Bukarest).

A földrengések nagyságát a földmozgás során felszabadult energia logaritmikus értékével fejezik ki, amit magnitúdó skálán kifejezett számadatban adnak meg. Ezt Charles F. Richter 1935-ben kidolgozott eljárása nyomán egy adott távolságban (általában 100 km) a beérkező hullám amplitúdója, avagy kilengése alapján számolják. Két skálaérték között 32-szeres energia felszabadulási különbség van, azaz egy $M=4$ és $M=6$ magnitúdójú földrengés között 32×32 , azaz mintegy ezerszeres a különbség! A kezdeti Richter-skála már több esetben módosult, ahogy a műszerek érzékenysége és a szeizmológia tudománya is fejlődött. A földrengéseket figyelő rendszerek, mint az Amerikai Földtani Szolgálat (USGS), vagy Európában a potsdami Helmholtz-Zentrum für Geoforschung (GFZ) és az Euró-Mediterrán Szeizmológiai Központ (EMSC), illetve Magyarországon a HUN-REN FI Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium automatikusan észleli a földrengéseket és adja meg helyét (epicentrum), mélységét (hipocentrum), magnitúdóját, sőt további tudományos adatokat is, mint például a fészekmechanizmust (alapvetően lezökkenés, feltolódás vagy oldalelmozdulás) mutató 'strandlabda' jelet, és ami lényeges a földrengés veszély kapcsán, a földrengés intenzitását. Ez az utóbbi érték, amit egy úgynevezett makroszeizmikus skálán fejeznek ki (az Egyesült Államokban a módosított Mercalli-skála vagy Európai Makroszeizmikus Skála), a földmozgás emberekre, épített környezetre, anyagi javakra kifejtett hatását jelenti. Ezt kezdetben a beérkező visszajelzések és a földrengés által potenciálisan befolyást terület alapján határozzák meg, majd később a pontos felmérések alapján adják meg a végleges értéket. A módosított Mercalli-skála 10 fokozatú, az európainak 12 fokozata van, amit római szá-

mokkal fejeznek ki. Mindkét esetben a VII fokozattól kezdve várhatóak komoly károk. A skálaértékekhez olyan fizikai paraméterek is kapcsolódnak, mint a legnagyobb talajgyorsulás (PGA=Peak Ground Acceleration), amit a talajszinten határoznak meg és a gravitációs állandóhoz viszonyítanak. Ez egyszerűen kifejezve a felszínen érezhető rázkódás, lökés erősségét fejezi ki, azaz mennyire erősen rengett a föld. Ezt műszerekkel tudják mérni és alapot ad az intenzitás érték kiszámolásához, továbbá szeizmikus veszélytérképek készítéséhez. Szintén ezt az értéket használják az épületek földrengésekkel szembeni ellenállásának mérnöki meghatározásában, azaz úgynevezett földrengésbiztos épület szabványok kialakításában. Nagyobb rengések, laza talaj esetén azonban jelentősebb szerep jut a függőleges elmozdulásnak, amit sebesség értékben fejeznek ki (PGV=Peak Ground Velocity). Fontos tudni azt, hogy egy kisebb magnitúdójú földrengésnek is lehet nagyobb intenzitás értéke, amennyiben az sűrűn lakott területen történik. Az Amerikai Földtani Szolgálat honlapja a nagy földrengések esetén folyamatos becslést ad arra is, hogy milyen nagy áldozatszám és anyagi kár várható, illetve várható-e a földrengéshez kapcsolód szökőár.

Vulkánkitörések

Vulkánkitörésnek nevezzük, ha a földfelszín alól magas hőmérsékletű olvadék, szilárd és gázfázisú anyag keveréke, azaz magma jut a felszínre. Ennek nagyon sok formája van, történhet ez folyással, akkor láva a neve, lassú kitüremkedéssel, akkor lávadómnak hívjuk vagy robbanásos kitöréssel, amikor úgynevezett piroklaszt üledék, röviden tefra réteg teríti be egyenletesen a felszínt. Ez utóbbi esetében a vulkáni anyag, piciny szemcsékből álló vulkáni hamu a kitörési felhőből hullik ki vagy a kürtőből repítéssel jutnak nagyobb méretű kőzetblokkok, lávacafatok a felszínre, de vannak olyan esetek is, amikor a földfelszínen oldalirányban nagy sebességgel (több száz km/óra) zúdul végig gázok és szilárd anyag keveréke, aminek piroklaszt-ár a neve. Vulkánkitörés során jön létre a vulkáni felszínforma, azaz a vulkán. Ennek megjelenése tükrözi a vulkánkitörés lefolyását. A legnagyobb vulkánkitörések során akár több száz, vagy a szupervulkáni kitörés során több mint ezer köbkilométer mennyiségű vulkáni anyag jut a felszínre. Ez akár nagyon gyorsan, néhány nap alatt megtörténhet és ekkor a jelentős mennyiségű magma eltávozása miatt a magmatározó teteje beszakad és így egy nagy tálalakú mélyedés alakul ki, aminek kaldera a neve. A vulkánok tehát nem csak magasba törő felszínformák, hanem mélyedések is lehetnek, amit tó vize vagy tengervíz borít be és így nem látszik feltűnően, annak ellenére, hogy ezek a legjelentősebb vulkánkitörések eredményei.

Vulkánkitöréshez az szükséges, hogy magma keletkezzen a mélyben, ami jellemzően a földképeny felső részén történik, bár vannak esetek, amikor a

földkéreg alsó része is megolvad. Az előző fejezetben rámutattam arra, hogy a földköpeny teljesen szilárd, mivel benne mind a p-, mind az s-hullámok terjednek. A szilárd földköpeny anyag megolvadásához alapvetően nem a hőmérséklet emelkedése szükséges, hanem az olvadáspont csökkenése. Ez egy nyomásfüggő fizikai paraméter, a nyomás csökkenésével csökken az olvadáspont. Szintén az olvadáspontot csökkenti a víz jelenléte a földköpeny kőzetben vagy, amikor nem az általánosan jellemző peridotit alkotja a földköpeny felső részét, hanem benne más szennyező kőzetanyag van, ami kőzetalábukással vagy a földkéreg alsó részének leszakadásával kerül be a földköpenybe.

A földköpeny csak részlegesen olvad meg, nem több mint 10–15%-os lehet ennek mértéke a Föld jelenlegi hőmérsékletviszonyai mellett. A keletkező olvadék összegyűlik és ha elér egy kritikus térfogatot, akkor képes lehet elszakadni a szilárd kőzetanyagtól. Ennek hajtóereje a sűrűségkülönbségből adódó felhajtóerő. A részleges olvadás során a peridotit kőzetből nagyobb szilíciumtartalmú bazaltos összetételű magma keletkezik. Ennek kisebb a sűrűsége a peridotit kőzethöz, ami megfelelő nagyságú térfogat esetén jelentős felhajtóerőt jelent. Ez elegendő lehet ahhoz, hogy feltörje a felette lévő kőzettestet és akkor a magma megindul a földfelszín felé. A földkéreg kőzete azonban nem tér el jelentősen a bazaltos magma sűrűségétől. Bár az alsó részén bazalt kőzetek vannak, a bazaltos olvadék sűrűsége némileg kisebb, a rendezetlen belső szerkezet, a hőtágulás, a benne lévő illóanyagok miatt. Feljebb azonban csökken a földkéreg kőzeteinek sűrűsége, ami kisebb, mint a bazaltos olvadéké. Ezért a magma általában megakad és egy kiterjedt magmatározót hoz létre. Van azonban arra is példa, hogy a bazaltos magma egyből felszínre tör, a tudományos modellek szerint akár 3–6 nap alatt a földköpenyből áttörheti a földkéreg kőzetét és felszínre jutva vulkánkitörés okoz. A magmatározóban megakadó bazaltos magma lassan hűl és kristályosodik, ami azt jelenti, hogy egyre több szilárd fázisú kristály jelenik meg benne, miközben a maradékolvadék kémiai összetétele változik, ezzel sűrűsége csökken. Továbbá, a kristályosodás miatt az oldott illófázisok kiválhatnak gázbuborékok formájában és ez szintén sűrűségcsökkentő hatású. Így létrejöhet egy olyan magmatömeg, amire akkora felhajtóerő hat, hogy még a földkéreg merev kőzettestét is képes feltörni és felfelé nyomni.

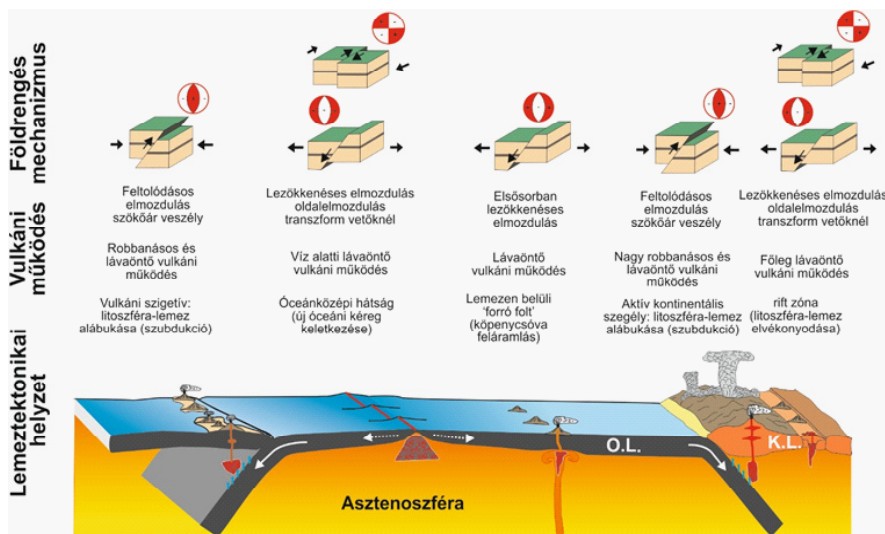
A földkéregben, általában 6–15 kilométer mélyen aztán ez a magma is megakad. Itt akár több tízezer vagy százezer évig is tartózkodhat a tudományos kutatások eredményei alapján. Az a magma azonban már más, mint ami kezdetben volt. Itt már sokkal több benne a kristály, meghaladhatja akár az olvadékfázis mennyiségét is és ez azt jelenti, hogy a magma viszkozitása hirtelen megnő, ami megakadályozza a mozgásban. Ez a kristályokban gazdag magma fizikailag nem képes a felszínre törni. Ezt úgy nevezik, hogy kristálykása

(kristályok részaránya>olvadék részarányánál). A vulkáni kitörés esélye tehát úgy fogalmazható meg, hogy miképpen képződhet a kristálykásából olyan fizikai tulajdonságokkal rendelkező magmatömeg, ami lehetővé teszi a felszínre jutást. Ehhez pedig meg kell növekednie az olvadék részarányának (kristályok részaránya<olvadék részarány). Kitörésre alkalmas magma mennyiség létrejöhet a kristálykása szilárd szerkezetének összetömrődésével és közben a kristályközi olvadék kiperéselődésével vagy friss, nagy olvadéktartalmú, magas hőmérsékletű magmának a kristálykása tározóba való felnyomulásával. Ez utóbbi a gyakoribb eset és ilyenkor akár hetek, hónapok alatt kialakulhat a kristálykása anyagból a kitörésre alkalmas magmatömeg.

A vulkánkitörés lefolyásának okát a közettani vulkanológia eszközeivel értethetjük meg, hasonlóképpen, mint a kristálykása magmatározóban zajló folyamatokat, a kitörést előidéző eseményeket. A robbanásos vagy lávaöntő kitörést a magma feláramlási sebessége, kémiai összetétele, kristálytartalma és illóanyag-tartalma határozza meg. A társadalom szempontjából nagyon nem mindegy, hogy robbanásos lesz a kitörés vagy lávaöntő, ezen belül messzire folyik a láva, vagy csak kitüremkedik. A közettani vulkanológiai kutatásoknak ezért nagyon fontos szerepe van manapság a kitörés előrejelzésben és veszélykezelésben.

A lemeztektonikai hajtóerő

A földrengések és vulkánkitörések bolygónk természetes folyamatai, amelyek szoros kapcsolatban vannak a lemeztektonikai mozgásokkal. A Föld legkülönbözőbb merev kőzetburkát nevezzük litoszférának, ami kisebb-nagyobb egységekre bontható, amiket kőzetlemezeknek nevezünk. Ezek különböző irányokban mozognak, ami miatt egyes kőzetlemez határokon közeledés, máshol távolodás történik, e mellett pedig van arra is példa, hogy kőzetlemezek csúsznak el egymás mellett. A kőzetlemezek teljesen, folytonosan beborítják bolygónk külső részét, köztük nincs hézag. A határvonalakat gyengeségi zónák jelentik, ahol a kőzettestben jelentős mértékben felhalmozódik feszültség és ez végül földrengést okoz. A kőzetlemezek (litoszféra) a földkéregből és a földköpeny legfelső részéből állnak. Az alattuk lévő földköpeny is szilárd halmazállapotú, azonban köztük reológiai különbség van. A litoszféra általánosságban mereven viselkedik, az alatta lévő földköpeny viszont rugalmasan reagál a kőzetfeszültségekre, ami lassú mozgást eredményez. A litoszférában a hőmérséklet a felszín felé erősen csökken, ami azt jelenti, hogy a kőzetek mechanikai tulajdonsága változik, egyre inkább a töréses elmozdulások lesznek jellemzők. A földrengések ezért jelentős részben a földkéreg felső 20–30 kilométer részén pattannak ki.



2. ábra. Különböző lemeztektonikai helyzetek egyszerűsített ábrája a kapcsolódó földrengés és vulkáni működés rövid jellemzőivel.

Ahol kőzetlemezek távolodnak egymástól, ott a kőzettestben széthúzásos feszültség alakul ki, ahol pedig közelednek egymáshoz, ott összenyomásos feszültség keletkezik. A rideg kőzet egy idő után e feszültség hatására eltörik és kőzettestek elmozdulnak egymás mellett. Az elmozdulás többnyire egy sík mentén zajlik, amit vetősíknak nevezünk. Az elmozdulás horizontális hossza nagyon különböző lehet, akár több száz kilométer. Függőleges vetületben nézve széthúzásos feszültség esetében a vetősík mentén az egyik oldalon lezökken a kőzettest, ezt normál vető menti mozgásnak nevezzük, míg összenyomásos területen a vetősík egyik oldalán felfelé mozdul el a kőzettest, azaz rátolódik a másik kőzettestre. Ezt reverz vető menti mozgásnak nevezzük. Egymás melletti kőzetlemez elmozdulás esetén is egyre nő a kőzettestben a feszültség, majd amikor ez meghaladja a kőzetek szakítószilárdságát, akkor egy oldalelmozdulásos vetősík mentén akár több méter távolodás is bekövetkezhet.

A kőzetlemezek mozgását a lemeztektonika elméletének 1960–70-es évekbe-li elfogadását követően alapvetően a földköpenyben zajló anyagáramlásos, azaz konvekciós folyamatokkal magyarázták, aminek elsődleges hajtóereje a bolygónk belsejében lévő hő. Ez részben a Föld keletkezése során a bolygó gravitációs összetömörödése során felhalmozódó hőt jelenti, nem kevés részben pedig a radioaktív izotópok bomlása során felszabadult hőmennyiséget. A hőmérséklet eloszlás nem egyenletes. Ahol magas a hőmérséklet, a kőzetek sűrűsége kisebb,

ami miatt felhajtóerő hat rájuk. Ez egy lassú felfelé irányuló mozgást eredményez a földköpeny szilárd, de plasztikusan viselkedő részében. A földköpeny felső részén lévő alacsonyabb hőmérsékletű, ezért nagyobb sűrűségű kőzetek ezzel szemben lefelé mozognak, süllyednek és ez egy úgynevezett konvekciós cellát hoz létre. A konvekciós cella felső részén a kőzetlemezek alatt a plasztikus földköpeny mozgása horizontális, ami elmozdítja a rajta „úszó” kőzetlemezt.

Az elmúlt évtizedekben a földköpeny konvekciós cella által mozgatott kőzetlemez elmélet módosult és úgy tűnik, alapvetően a kőzetlemezek gravitációs erőhatásában lehet a kőzetlemez mozgás oka. Ez azt jelenti, hogy amikor egy kőzetlemez vastagsága elér egy sűrűségbeli határértéket, akkor már nem képes fennmaradni a plasztikus földköpeny tetején és lassan besüllyed, alábukik. Az óceáni litoszféra vastagságának növekedése hűléssel történik. A távolodó kőzetlemezek határán lévő óceáni hátságok mentén forró a kőzetlemez, itt gyakori a magmás tevékenység is, azonban ahogy távolodunk a hátságtól, a kőzetburok hőmérséklete csökken, így a litoszféra alatti földköpeny (asztenoszféra) felső részéről egyre nagyobb adag tapad rá és válik a merev kőzetlemez részévé. A vastagodó, alacsonyabb hőmérsékletű litoszféra földköpeny kőzet sűrűsége nagyobb, mint az alatta lévő asztenoszféra anyagé. Nagyjából 150–250 millió év alatt ez a sűrűségnövekedés olyan mértékű, ami miatt a kőzetlemez már nem képes fennmaradni az asztenoszféra földköpeny kőzetanyagán és ekkor elkezdődik lassú süllyedése, azaz alábukása. Az alábukás egyben húzóerőt jelent a kőzetlemezekre, ami miatt a kőzetlemez oldalirányba mozdul el. A jelen tudományos felfogása szerint tehát a litoszféra alábukás húzóereje okozza elsődlegesen a kőzetlemezek mozgását. Ehhez járul hozzá, bár kisebb mértékben a hátságok mentén fellépő szétcsúszás ereje, amivel hozzávetőlegesen azonos jelentőségű a plasztikus földköpenyben zajló áramlások okozta hajtóerő. Ez a lemeztektonikai folyamat a mai értelemben legalább 1 milliárd éve zajlik és ez teszi különlegessé bolygónkat, hiszen más égitesten nem ismerünk aktív lemeztektonikai folyamatot.

A kőzetlemezek mozgása nem csak feszültséget okoz a litoszféra kőzeteiben, hanem jelentős mértékben meghatározza a vulkáni működés eloszlását is. A szétcsúszó kőzetlemezek határán általában elvékonyodik a litoszféra, az elvékonyodás következtében a plasztikusan viselkedő asztenoszféra anyaga felfelé mozog. A felfelé mozgás azt jelenti, hogy az alapvetően állandó – mintegy 1300°C – hőmérsékletű kőzetanyag egyre kisebb nyomásra kerül. A nyomásváltozás több fizikai tulajdonságot befolyásol, ilyen például az olvadáspont is. A kőzetek olvadáspontja a nyomás csökkenésével kisebb lesz. Ez azt jelenti, hogy a felfelé mozgó kőzetanyag olvadáspontja folyamatosan csökken, miközben a hőmérséklete nem változik. Így egy bizonyos nyomásértéket elérve az olvadáspont a környezetre jellemző hőmérséklet alá kerül és ez a részleges olvadás megindu-

lását jelenti. A szétsodródó kőzetlemez határán a normál vetős elmozdulásokkal járó táglas repedéseket és hasadékokat hoz létre. A litoszféra alatti asztenoszféraiban keletkező kőzetolvadék, azaz magma benyomul ezekbe, felhajtóerejénél fogva tovább is repesztheti, sőt a felszínre törhet. Ez a földköpenyből származó, azonban attól kémiai összetételben eltérő bazaltos magma akár a földfelszín alatt, akár a földfelszínen megszilárdulva gyarapítja a földkérget és hozzájárul a hátságok mentén történő kőzetlemez szétsodródáshoz, oldalirányú kőzetlemez elmozduláshoz.

A közeledő kőzetlemezek esetében egymásnak feszül két litoszféra. Itt, amennyiben az egyik nagyobb sűrűségű, ami jellemzően az óceáni kőzetlemez, az lefelé mozog, alábukik és a plasztikus földköpenybe nyomul, míg a másik kőzetlemez feltolódik. Ezeket nevezzük kőzetlemez alábukási, szakszóval szubdukciós zónáknak. Az óceáni kőzetlemez a földköpeny mélyebb részébe történő alábukása során nem olvad meg. Nem olvad meg, mert hőmérséklete jóval, több száz Celsius fokkal kisebb, mint a környező, plasztikus, mintegy 1300°C-os földköpenyé. A növekvő nyomás és a magas hőmérséklet miatt azonban az óceáni lemez bazaltos és peridotitos kőzetei átalakulnak, ezt nevezik metamorfózis folyamatának, ami szilárd fázisú ásványos összetétel és szerkezeti változást jelent. Az alábukó óceáni kőzetlemezben a bazalt és a peridotit is többé-kevésbé átalakult formában van jelen, mivel az óceáni medencealjzatot hosszú időn keresztül alkotva folyamatos volt a kőzet-víz kölcsönhatás, ami víztartalmú ásványfázisok kialakulását okozta. Ezek az ásványfázisok az alábukás során történő metamorfózis során lebomlanak, víztartalmukat elvesztik és helyettük vízmentes ásványfázisok jönnek létre. Ennek két fontos következménye van: (1) az ásványfázisokban kötött víz szuperkritikus oldatok formájában felszabadul és az alábukó kőzetlemezről eltávozik a felette lévő plasztikus földköpeny kőzetanyagba; (2) a metamorfózis során keletkező vízmentes ásványfázis nagyobb sűrűségű, ami miatt az alábukó kőzetlemez átlagos sűrűsége növekszik, ami további lefelé húzó erőt jelent, elősegítve a kőzetlemez további süllyedését és közvetetten a kőzetlemezek oldalirányú mozgását.

Az alábukó kőzetlemez feletti asztenoszféra földköpenybe jutó vizes oldatok reakcióba lépnek a peridotit kőzetanyaggal és csökkentik annak olvadáspontját, ami részleges olvadást, azaz magmaképződést okoz. A vizes oldatokba egyre nagyobb mennyiségű szilikátos olvadékanyag kerül. A magmaképződés az alábukó kőzetlemez felett, az úgynevezett asztenoszféra földköpeny-ék belsejében válik erőteljessé, ahol a hőmérséklet is nagyobb, mint az alábukó kőzetlemez határán. Itt jelentős térfogatú, az óceáni hátságok alatt keletkező bazaltos magmáknál jellemzően több oldott vizet tartalmazó magma alakul ki, ami felfelé hatol, majd megakad a felső, vastag kőzetlemezen belül, a földkéreg-földköpeny

határán. Itt részben kristályosodik, részben a felnyomuló magmák keverednek egymással, ami szilíciumban gazdagabb kőzetolvadékot eredményez. Ennek sűrűsége kisebb a bazaltnál, ezért tovább tud felfelé nyomulni, fel tudja repeszteni a kőzettestet és emiatt a földkéregben kiterjedt magmatározók jönnek létre. Eből juthat fel időszakosan magma a felszínre, ahol többnyire andezites, dácitos magmák építik fel a vulkánokat.

Végük meg kell említeni azt is, hogy vulkánok nem csak a szétsodródó (óceáni hátságok) és egymáshoz közeledő (szubdukciós zónák) kőzetlemezek határán alakulnak ki, hanem létrejöhetnek kőzetlemezek belsejében is. Ennek oka a mélyebb földköpenyben zajló konvekciós áramlások. A mintegy 1–3 milliárd év alatt a földköpenybe alábukó kőzetlemez maradványai részben 400–670 km mélységben, részben a földköpeny legalján halmozódtak fel. A földmag külső, folyékony részében történő áramlások felfűtik ezeket a kőzeteket, ami egy idő után, kisebb sűrűségük miatt lassan elkezdene felfelé, egy függőleges feláramlási zónában mozogni. Itt kőzetanyag mozog kőzetben, de ahogy korábban szó volt már róla, a földköpeny alapvetően pasztikus tulajdonságú, amelyben a sűrűségkülönbségek miatt lassú (évente néhány centiméteres nagyságrendű) anyagáramlás megvalósulhat. Ahhoz, hogy a földköpeny és földmag határáról számottevő kőzetanyag el tudjon indulni felfelé, 200–300°C-os hőmérsékletkülönbségnek kell lennie. A különböző kémiai összetétel és a nagy hőmérsékletkülönbség miatt a felfelé mozgó kőzetanyag nem keveredik a szomszédos földköpeny kőzetanyaggal, ez olyan, mint a kéményekből felszálló füst (a földköpenyben is angolul 'plume' a neve, magyarul földköpenycsóvának fordíthatjuk). A köpenycsóvának megmarad koherens anyaga és áramlik felfelé 2900 km mélységből egészen a bolygó külső részét alkotó litoszféra mintegy 100 km mélységben húzódó határáig. A felfelé áramlás itt is nyomáscsökkenést jelent, azaz a feláramló kőzetanyag olvadáspontja fokozatosan csökken. Emiatt mintegy 150–200 km mélységben már megindulhat a földköpenycsóva belsejében az olvadás, a keletkező magmák mennyisége pedig egyre nő a litoszféra aljáig. Itt akár óriási mennyiségű magma is létrejöhet, aminek eredményei a Föld leghatalmasabb vulkánkitörései, a kiterjedt bazalt lávaplátó területek. Ezek kialakulását jellemzően erős kihalási események követték. A földköpenycsóva feláramlás azonban akár több tízmillió évig még folytatódhat, bár kisebb térfogásban, és ez azt jelenti, hogy a Föld egy adott területe alatt hosszú ideig zajlik magmaképződés, a felszínen pedig vulkáni működés. Ez a lassan mozgó kőzetlemezek belsejében szigetláncokat alakít ki, aminek legkiválóbb példája az Emperor–Hawaii szigetsor.

A földrengések kialakulását és a vulkáni tevékenységet nagy léptékben ezek a lemeztektonikai folyamatok irányítják, szabályozzák. Ahogy azonban egy-egy

területre, részletekben menően igyekszünk megérteni az ott zajló természetes eseményeket, a helyzet bonyolultabbá válik, mivel egyre több tényezőt kell figyelembe venni.

Veszély, veszélyeztetettség, kockázat

A földrengés és vulkáni veszély hasonló módon értelmezhető, mint a több természeti eseményé. Ezt nem maga a természeti folyamat nagysága határozza meg, hanem a társadalom. Földrengések és vulkánkitörések vagy 4 milliárd éve zajlanak a Földön, ezek között voltak kisebbek és nagyobbak is. A modern ember azonban csak az elmúlt néhány tízezer évben jelent meg, ezen belül a történelmi időt jelző írásos feljegyzések, helytől függően, csak néhány száz, néhány ezer éve vannak. Nagyon csekély hosszúságú ez az időszak, különösen a az extrém nagy vulkánkitörések megismétlődési esélyét tekintve mondhatjuk azt, hogy ezek valószínűsége a történelmi időkben és a jövőben is bár nem nulla, de nagyon piciny. Ugyanakkor van egy másik tényező, ami viszont növeli a veszélyérzetet. Ez pedig a rohamosan gyarapodó népesség. A bolygónkon élő emberek száma néhány évtized alatt többszörösére nőtt, a 21. század elejére meghaladta a 8 milliárdos számot. A vulkánkitörések száma ugyanakkor nem változott, pedig sokan úgy érzik, hogy egyre több a vulkánkitörés. Erről is azonban van pontos kimutatásunk. Évente 50–70 vulkán tör ki és ez a szám alapvetően változatlan. Ugyanakkor a növekvő népesség miatt egyre nő a veszélyhelyzet és a média hírzuhatagával érezzük úgy, hogy egyre több vulkánkitörésről értesülünk. Jelenleg mintegy 800 millió ember, azaz a Föld lakosságának 10 százaléka él potenciális vulkáni veszélyben, azaz egy olyan vulkán 100 kilométeres körzetében, amely tűzhányó kitörhet és ennek akár jelentős lehet a hatása.

Fontos tehát leszögezni, hogy mi is a vulkáni és földrengésveszély. Egy adott területen a társadalomra nézve különböző potenciálisan pusztító hatású természeti esemény történhet. Például földrengés, vulkánkitörés, árvíz, földcsuszamlás, meteorit becsapódás stb. Ezek eltérő veszélyforrást jelentenek. Földrengés esetén a korábban leírtak szerint a felületi hullámok terjedése okoz vízszintes elmozdulást, rázkódást és vagy függőleges elmozdulást, ami mellett adott esetben a felszín is felrepedhet, mély hasadékok keletkezhetnek, óceáni területen, tengeri környezetben pedig egy földrengés kiváltható szökőárat, ami még több száz kilométer távolságban is rombolhat. Vulkánkitörés esetén veszélyforrást jelent a hulló vulkáni hamu, a kirepülő kőzetblokkok, a hirtelen robbanásos kitörés által kiváltott légköri nyomáshullám, a gyorsan folyó láva, a sebes és több kilométer, esetenként akár néhány tíz kilométer távolságba is elrobogó és mindent elsodró piroklaszt-ár, valamint a turbulensen mozgó, forró gázokban gazdag piroklaszt-torlóár. Szintén romboló hatású, akár a vulkántól 50–100 km távolságban is,

a folyóvölgyekben lezúduló iszapár (lahar), az érzékszerveket támadó vulkáni gázok (vulkáni szmog), a vulkánkitöréssel járó felszíni változások, mint például lejtőomlás, vagy tengeri környezetben a szökőár. Nagy kitörések és kéngazdag magma robbanásos kitörése esetén globális klimatikus hatások lehetnek, amelyek több milliárd emberre hathatnak. Ilyenre számos példát látunk az elmúlt 2500 évben, tehát hasonló eseményre a jövőben is fel kell készülni.

A veszélyforrások azonosítása rendkívül fontos, mert nélkülözhetetlen a felkészülésben. Ez azt jelenti, hogy a „békeidőben” történő geológiai, geofizikai és vulkanológiai tudományos kutatásoknak kiemelt szerepe van, mert ezek tudják ezeket a veszélyforrásokat egy adott területen feltárni. Maga a veszély számszerűsíthető és ez az adott területen a természeti veszélyforrással rendelkező esemény (pl. egy adott nagyságú földrengés, egy adott típusú vulkánkitörés) bekövetkezésének valószínűsége meghatározott időléptékben. A veszélyeztetettség alapvetően a természeti eseménynek kitett népességtől és anyagi javaktól függ. Számszerűsítve az emberi és társadalmi érték azon része, ami egy potenciálisan veszélyes természeti esemény során elpusztulhat. Felmérhető számszerűen is az az érték, ami ilyenkor megsemmisül és ekkor ennek értéke, a veszély bekövetkezésének valószínűsége és a veszélyeztetettség (pl. lakosság száma) szorzata adja a kockázatot, amit nevezhetünk katasztrófa kockázatnak is.

A fentiekből következik, hogy földrengés vagy vulkáni veszélyről csak emberek által lakott területen, emberi értékek jelenléte esetén beszélhetünk. Egy lakott területen történő kis, akár csupán lávafolyással járó kitörés is jelenthet óriási kockázatot, mint ahogy ez meg is történt: 2014. november végén indult és következő év február 8-ig tartott a Pico do Fogo kitörése a Cape Verde szigetekhez tartozó Fogo szigetén. A lávafolyamok elpusztították a Chã das Caldeiras területén lévő épületek 75%-át, többek között egy modern vulkánkiállítás épületét is. 2018-ban a hawaii Nagy-szigeten, nem a Kilauea vulkáni területen, hanem az onnan kiinduló keleti riftzónában zajlott lávaöntő kitörés. Bár itt voltak néhány évtizede lávaöntő kitörések, a térséget felparcellázták és települések, vakációpontok alakultak ki. Szó szerint a kertekben hasadt fel a földfelszín és ömlött ki a láva, ami közel 700 épületet semmisített meg. A láva 35,5 négyzetkilométer területen terült szét és a sziget nagyságát is megnövelte kicsit. Közel 3000 lakost kellett kitelepíteni, a láva utakat vágott át, az anyagi kárt több száz millió amerikai dollárra tették. A Kanári-szigetekhez tartozó La Palma szigetén 2021-ben indult szintén lávaöntő kitörés, mégpedig a Cumbre Vieja oldalában. Itt sem volt előzmények nélküli a vulkánkitörés. Pontosan ezen a területen zajlott egy lávaöntő kitörés 1949. nyarán. Azóta viszont több száz épült fel, többségük az elmúlt években, részben külföldi turisták által. A 85 napig tartó vulkáni működés 3000 házat rombolt le, 7000 embert kellett kitelepíteni, óriási banán ültetvények pusztultak el. Az anyagi kárt mintegy 900 millió euróra becsülik.

Izlandon 800 év szünet után indult vulkán kitörés 2021. márciusában. A sziget e területe sokáig biztonságosnak tűnt, habár a vulkanológusok ismerték e nagylépítű vulkánkitörési ciklusokat és figyelmeztettek arra, hogy nemsokára egy újabb kitörési ciklus kezdődhet. Az nem volt kétség, hogy bekövetkezhet itt egy újabb aktív vulkáni fázis, azt azonban nem lehetett megmondani, hogy pontosan mikor. Az itt élő emberek pedig alapvetően biztonságban érezték magukat, mert ezt tapasztalták, ezt szokták meg. A 2021-23-as kitörések még turistacsalogatóak voltak, azonban ezt követően a vulkáni működés területet váltott. 2023. decemberében a Fagradalsfjall területéről nyugatra, a Sundhnúkur hasadékszónában indultak a kitörések, ahol már emberi értékek voltak. Ez a hasadékszóna az Észak-Amerikai- és Eurázsiai-közetlemez határán lévő Közép-Atlanti hasadékszóna része. Az e zónában kipattanó földrengések és vulkánkitörések új, addig az itt élő emberek által nem tapasztalt veszélyforrást jelentettek. 2023. novemberében a földfelszín alatti magmatározóból oldalirányba folyt el a magma, miközben egy erőteljes földrengéssorozattal számos repedés, hasadék nyílt fel a földfelszínen. Itt már nem csak lakatlan terület volt, mint a Fagradalsfjall, a tengerparton Grindavík halászfaluban közel 4000 ember élt, akiket teljesen ki kellett telepíteni és valószínűleg már sohasem térhetnek vissza otthonukba. A magma pontosan Izland egyik legnagyobb turisztikai vonzását jelentő Kék Lagúna fürdő és a közeli Svartsengi geotermális erőmű alatt halmozódik fel a fölkéregben, mintegy 3–5 kilométer mélyen. Szerencsére a magma nem itt, hanem néhány kilométerre keletre tört fel minden alkalommal a felszínre. Azonban minden alkalommal ki kellett telepíteni a turistákat, továbbá mind Grindavík köré, mind a Kék Lagúna és az erőmű köré egy magas földsáncot kellett építeni, hogy megvédjék a lávafolyamoktól. Ha ezt nem teszik meg, ha erre a vulkanológusok nem hívják fel időben, előre a figyelmet, akkor Grindavík, a Kék Lagúna és a Geotermális erőmű is lávatarak alatt lenne már. Az anyagi veszteséget, beleértve Grindavík lakosainak átköltöztetését és kártalanítását, közel 1 milliárd euróra teszik. Mindez úgy, hogy a vulkáni működés nagysága csekély, kis területen hat, azonban értékeket veszélyeztet.

A földrengés előrejelzés bizonyossága és bizonytalansága

A bevezetőben megfogalmazódott az állítás, hogy nem lehet pontosan meghatározni egy jövőbeli földrengés, illetve vulkánkitörés bekövetkezését. Ez így igaz, azonban nem vagyunk tehetetlenek és védtelenek a potenciálisan romboló természeti eseménnyel szemben. A veszély előrejelzés működik, amikor valószínűségi számokkal adják meg, hogy milyen eséllyel történhet egy adott területen egy potenciálisan romboló földrengés. Fontos leszögezni, hogy egy nagy földrengésnek jelen tudásunk szerint nincsenek közvetlen előjelei. Utólag

esetenként fel lehet ismerni, hogy voltak a főrengésnek előrengései, azonban ezt mindig csak a földrengéses időszak után lehet azonosítani. A vulkáni működés esetében azonban sok esetben vannak közelgő vulkánkitörésre utaló jelzések és vannak műszerek is, amiket ezeket rögzíteni lehet. A szakmai, vulkanológiai tudás pedig segít az értékelésben és értelmezésben.

A földrengések esetében a potenciális veszélyben lévő helyszín azonosításában a lemeztektonikai tudás, az aktív törésvonalak kitérképezése, a múltbeli földmozgások eseményeinek feltárása rengeteget segít. A földrengések túlnyomó többsége kőzetlemez határokhoz kötött és azt is tudjuk, hogy különösen az egymáshoz közeledő kőzetlemezek határa, a szubdukciós zónák a leginkább veszélyesek. Így például az úgynevezett Tűzgyűrű területén a legnagyobb a kockázat, hiszen bizonyos szegmensein több tízmillióan, összesen közel 1 milliárdan élnek e 40 ezer kilométer hosszú zóna mentén. Ide tartozik Dél-Amerika nyugati partvidéke (Argentína, Chile, Peru, Ecuador), Közép-Amerika, majd Észak-Amerika nyugati partvidéke az Egyesült Államokban és Kanadában, ahol számos nagyváros van, mint például Los Angeles és San Francisco. Alaszka és Kamcsatka térsége kevésbé lakott, azonban Japán, a Fülöp-szigetek, Indonézia a Föld legnagyobb népsűrűségű országai, majd folytatódik a zóna Pápua Új-Guinea, Fiji szigetek és Új-Zéland felé. A nagy (>6 magnitúdójú) földrengések mintegy háromnegyede itt zajlik, a különösen nagy (>7 M) rengések pedig 90%-ban e térségben történik. A vulkánkitörések esetében szintén magas a részarány, a vulkánkitörések kb. 65-70%-a a Tűzgyűrűhöz köthető. Ez azt jelenti, hogy bizonyossággal megmondható, hogy nagy 7–9 magnitúdójú földrengés a jövőben e térségben fog bekövetkezni és itt lehetnek a legnagyobb vulkánkitörések is. A nagy kérdés persze, hogy melyik szegmensben. Földrengések esetében a leginkább célkeresztben lévő terület az Egyesült Államok nyugati része, a Szent András-törésvonal zónája, ahol sokan „várják” már a nagy földrengést.

A mintegy 1400 kilométer hosszú Szent András-törésvonal, pontosabban törészóna, mivel egymással párhuzamosan futó több törésvonalból áll, 30 millió éve alakult ki két nagy kőzetlemez határán. Nyugatra van a Csendes-óceáni, avagy Pacifikus-kőzetlemez, keletre pedig az Észak-Amerikai-kőzetlemez. Ez egy úgynevezett transzform kőzetlemezhatár, északra és délre is szétsodródó kőzethatárban folytatódik, illetve északon van egy kőzetlemez alábukási zóna is, aminek eredménye többek között az Egyesült Államok nyugati partvidéke mentén sorakozó vulkánok, mint például a Mt. St. Helens, a Rainier és a Lassen tűzhányók. A lemeztektonikai elmélet mutatja, hogy a Pacifikus-kőzetlemez északi irányba, az Észak-Amerikai-kőzetlemez pedig dél felé mozog a Szent András törészóna mentén. Azaz mozogna, mert a merev kőzetek ezt nem engedik. Ezért nő a feszültség a földkéregben, ami aztán végül hirtelen elmozdulást

és nagy földrengéseket okoz a törésvonal valamelyik szegmensén. Az északi részen következett be 1906-ban a San Franciscot ért földrengés, ami közel 8-as magnitúdójú volt, a földrengés és a kapcsolódó tűzvész romba döntötte a várost. Több mint 3000 áldozata volt a katasztrófának. A Szent András-törésvonal északi és dél szakasza képes leginkább pusztító földrengésekre, érdekes módon a középső szegmens jóval nyugodtabb. Ennek oka az, hogy itt folyamatos az egymás melletti lassú kőzet elcsúszás, azaz nem halmozódik fel jelentős kőzetfeszültség. Ezzel szemben az északi és déli szegmensen megakadtak a kőzettestek egymás mellett, nem mozdulnak, pedig mennének, és ezért itt hatalmas feszültség alakul ki.

Az Amerikai Földtani Szolgálat (USGS) szakemberei szerint a Szent András-törésvonal déli részén, amelynek közelében található Los Angeles is, 60 százalék az esély, hogy 30 éven belül egy 6,7 magnitúdót meghaladó földrengés történik, egy 7,5 magnitúdónál is nagyobb földrengésre pedig 30 százalék az esély. A két magnitúdó érték között mintegy 32-szeres a különbség, ami nagyon jelentős. A törésvonal e részén utoljára 1857-ben volt nagy, mégpedig 7,9 magnitúdójú földrengés, azt megelőzően pedig 1812-ben. Az eltelt mintegy 150 év pedig már jelentősnek mondható, hosszabb, mint amit a nagy földrengések visszatérési gyakoriságára számoltak. Ezért mondják szakemberek is, hogy már nagyon itt van az ideje egy nagy földrengésnek. A 30–60 százalék esély nagyon nagy, azaz nincs kétség, hogy bekövetkezik ez a földrengés. Az előrejelzés háttérében tudományos kutatások eredményei állnak, azonban azt is fontos látni, hogy ennél pontosabban nem tudjuk meghatározni az idejét, sőt, plusz/mínusz több évtizeddel is számolhatunk. Ami biztos, hogy a feszültség egyre csak nő a kőzettestben, és a nagy földrengés elkerülhetetlen. A Szent András-törésvonal északi és dél szakasza pusztító földrengésekre képes, amint az 1906-os San Franciscot ért földrengés is mutatja, és amire Los Angelesnek is fel kell készülnie. Itt óriási feszültségek halmozódnak fel az egymás mellett lévő, ellentétes irányú mozgást végző kőzetlemezek miatt. Bár pontosan előre jelezni nem lehet, hogy mikor, hol és mekkora földrengés pattan ki, a nagy eseményre azért a modern társadalomnak fel kell készülnie és ezzel, ha elkerülni nem is tudja, de a károkat csökkenteni képes lehet.

A Szent András-törésvonal mellett a Föld szeizmikusan kiemelt veszélyt jelentő területe a törökországi Isztambul térsége, ami az Észak-Anatóliai törésvonal közelében fekszik. Ez a törésvonal is jobbos oldalelmozdulásos típusú, ahogy a Szent András-törésvonal. Hossza is hasonló, mintegy 1200 kilométer. Oka az Arab-kőzetlemez északi irányú mozgása és ütközése az Eurázsiai-kőzetlemezrel, aminek következtében a kisebb méretű Anatóliai-kőzetlemez nyugati irányba mozog. Ez a mozgás kőzetfeszültséget okoz az Anatóliai- és az Eurázsiai-

ai-kőzetlemezek között. Átlagosan a mozgás 2–2,5 centiméter évente, de ahogy korábban is láttuk, ez nem egy folyamatos elmozdulást jelent, hanem vannak szegmensek, amelyeken megakadnak a kőzettestek, növekszik a feszültség, vannak olyanok is, ahol kialakul lassú csúszás. Az előbbi helyeken pattannak ki aztán a nagy (6,5–8 magnitúdó közötti) földrengések. A korábbi földrengések elemzése azt mutatja, hogy 1939. óta egyre inkább nyugati irányban pattannak ki a nagy földmozgások. Utoljára 1999-ben volt jelentős és romboló földrengés, mégpedig 3 hónapos különbséggel, egymás közelében: Izmit térségében ($M=7,4$), majd Düzce közelében ($M=7,2$). A törésvonal isztambuli szegmense azonban 1766 óta be van ragadva, azaz potenciálisan óriási feszültség halmozódik itt fel a földkéregben és ez bármikor erős ($>M7$) földmozgást okozhat. A valószínűségi előrejelzések 35–40% esélyt adnak egy >7 magnitúdójú földrengésnek 30 éven belül, bár vannak akik 50–60%-ra teszik a valószínűséget, ami hasonló a Szent András-törésvonal déli szegmensére tett előrejelzéssel.

Mindkét területen több millió embert érinthet egy nagy földrengés. A bizonyosság az, hogy ez a jövőben be fog következni, látjuk ennek esélyét a következő 30 évben, de ebben benne van az is, hogy nincs kizárva az sem, hogy több mint 30 évet kell erre várni. A bizonytalanságban is azonban biztos, a felkészülés fontossága: földrengésbiztos épületek és a lakosság felkészítése, oktatása arra, hogy mit kell csinálni egy nagy földrengés esetén. A kihívás, a bizonytalanság persze nagy, mert ahogy telik az idő, úgy lankad a figyelem és kérdés, amikor megtörténik a földrengés, akkor ki hogyan reagál rá.

A földrengésre való felkészítést sok mindennel segítik, többek között kialakítottak egy földrengés korai felismerési (Earthquake Early Warning; EEW) applikációt. Az Egyesült Államokban ShakeAlert a neve, de működik ilyen Japánban, Tajvanon, Mexikóban, és van ilyen rendszer Kínában, Dél-Koreában és Törökországban is. Ez a rendszer egy gondosan megtervezett szeizmográf hálón alapul. Földrengés esetén az itt észlelt leggyorsabb p-hullámok beérkezésekor villámgyorsan kiszámolják az epicentrum, a hipocentrum és a magnitúdó értékeket és ha ez meghalad egy kritikus határt, akkor egy figyelmeztetést küldenek ki, amit még a lassabban beérkező és jóval nagyobb kárt okozó s-hullámok és felszíni hullámok beérkezése előtt megkapnak a veszélyzónában lévők, továbbá a vasúttársaságok, ipari létesítmények, kórházak, oktatási intézmények. A jelzés beérkezése és a veszélyes földrengéshullámok bekövetkezése között 5–60 másodperc van az epicentrumtól való távolság függvényében. Ez azonban elegendő lehet, hogy a tanult alapvető védekezés megtörténjen. Ez leginkább a „Drop, Cover, and Hold On”, azaz húzódj le, bújj fedezékbe és maradj ott általános vészhelyzeti protokollt jelenti, ami védelmet jelenthet egy földrengés esetén. Maga a figyelmeztetési rendszer néhány országban már működött és bevált (pl. Tajvan),

a riasztás hatékonysága természetesen függ a szeizmikus érzékelő rendszer (ki-telepített szeizmográfok hálózata) fejlettségétől, továbbá a lakosság felkészültségétől. Fontos hangsúlyozni, hogy ez a rendszer nem képes előre megjósolni egy földrengést, ez csak akkor működik, amikor bekövetkezik egy kritikus nagyságú földmozgás.

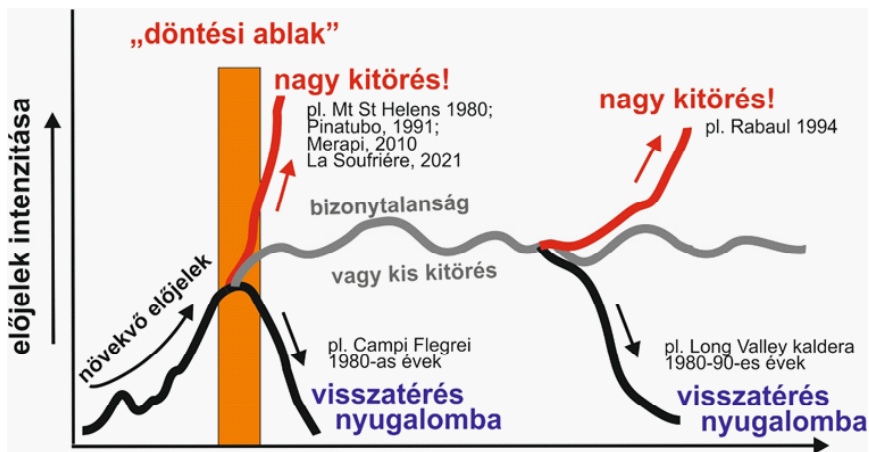
A pusztító földrengés bekövetkezésének idejét nem tudjuk pontosan megadni, de kiemelten fontos annak ismerete, hogy ez hol következhet be. Ehhez alapos tudományos munka szükséges, ami alapján földrengés veszély és földrengés kockázat térképek rajzolhatók meg. Ilyen térképek rendelkezésre állnak Európára is, ahol több mint 1200 aktív törésvonalat ismertek fel. Ezek túlnyomó része a Mediterrán térségben van. A leginkább veszélyeztetett területek Olaszország, Görögország, Albánia és Törökország, de ehhez hasonlóan veszélyes térség Romániában a Vráncsa-övezet. Itt az elmúlt bő ezer évben több mint 30 ezer földrengést regisztráltak és a következő évtizedekben nagy esély van >7 magnitúdójú földrengésre. A korábbi földrengések, a földtani és tektonikai helyzet, az aktív törésvonalak és a felszíni rázkódást kifejező talajgyorsulási modellek alapján fejezik ki azt, hogy milyen valószínűséggel történhet különböző, erős rázkódást jelentő talajgyorsulási értékek. A Vráncsa-térségben az Észak-Anatóliai törésvonalhoz, az Égei-térséghez és Közép-Olaszországhoz hasonlóan lehet akár $0.5\text{--}0.6$ PGA, azaz erős rázkódással járó földrengés. Földrengés veszélytérkép Magyarországra is készült, szerencsére itt nem várható $M>7$ földrengés.

A földrengés kockázat térkép hasonló területi eloszlást mutat, ami azonban a potenciálisan okozott kárt veszi alapul. Ez a népsűrűségtől, az építményektől, ipari létesítményektől és egyéb anyagi javaktól függ, de számba kell venni a talajviszonyokat is. A Vráncsa-övezetben kipattanó földrengések például Bukarestre jelentenek különösen nagy veszélyt, ami bár viszonylag távol van az epicentrum területtől, de a főváros vastag folyóvízi üledékes kőzetsorozatra épült, ami felerősíti a rengéshullámokat és ezért komoly pusztító hatást fejt ki. Egy ilyenre példa a 2025-ös mianmari földrengés, ami meglepette a több, mint 1000 kilométer távolságban lévő, szintén folyóvízi üledékre épült Bangkok felhőkarcolóit is.

A vulkánkitörés előrejelzés bizonyossága és bizonytalansága

A vulkáni kitörések egyedi helyet képviselnek a természeti veszélyek között abból a szempontból, hogy a figyelmeztető előjelek akár több hónapos hosszúságúak is lehetnek, ott is történhez vulkánkitörés, ahol több száz, vagy több ezer évig nem volt, és a vulkáni működés ideje is hosszabb lehet (akár több hónap, esetenként több év), mint a többi, jelentős veszéllyel járó természeti esemény (ár-

víz, hurrikán vagy tájfun, erdőtűz vagy földrengés) esetében. Általában vannak előjelek (bár volt olyan nagy vulkánkitörés, ami előtt mindössze 24 órával jöttek jelzések, pl. a chilei Chaitén 2008-as kitörése előtt), ami a magma mozgásával, felnyomulásával áll összefüggésben. A magma mozgása, feszítő ereje miatt földrengések pattannak ki, amelyek gyakran földrengésrajban érkeznek, emelkedik a földfelszín és előfordulhatnak intenzív gázömlések is. Mindennek ismeretéhez persze szükséges az érzékeny műszerek, amelyek akár a kis magnitúdójú földmozgásokat is képesek regisztrálni és azok mélységét is lokalizálni.



3. ábra. Vulkánkitörés előjelzésének komplexitása, a döntési ablak felelőssége és a figyelmeztető előjelek utáni lehetséges kimenetek Tilling (2008) munkája alapján.

A bizonyosság bizonytalansága az, hogy az előjelek vajon mennyire használhatók a vulkáni működés idejének megbecslésére, annak helyének és a vulkáni működés lefolyásának feltárásában. Bár sokan úgy gondolják, hogy vulkánkitörés csak ott lehet, ahol vulkán van, az elmúlt évek eseményei rácsáfoltak erre a felfogásra. 2021-ben La Palma szigetén épületek közelében hasadt fel a földfelszín és kezdődött több hónapos vulkánkitörés. Izlandon 2021-ben, majd 2023-ban szintén ott indult vulkánkitörés, ahol nem volt vulkáni felépítmény. Sőt, az sem biztos, hogy a vulkánkitörés a földrengés hipocentrumok és felszínemelkedés adatok alapján azonosított magmatározó felett történik. Izlandon 2023. decembere óta néhány hetes, néhány hónapos szünetekkel ismételtén történik vulkáni működés. A magma a Reykjanes-félszigeten lévő Kék Lagúna és a Svartsengi geotermális erőmű alatt 4–5 kilométer mélységben halmozódik fel, ezt a modellszámítások egyértelműen jelzik. A magma azonban nem e felett robban és folyik a felszínre – ami nyilvánvalóan katasztrofális hatású lenne – hanem

néhány kilométerre keletre, a Sundhnúkur hasadékszónában tör ki, ahol a szét-húzásos feszültség miatt gyengébb a kőzetek ellenállása. Ugyanez történt 2018-ban a hawaii Nagy-szigeten is, ahol a Kilauea kaldera alatti magmatározóban felhalmozódó bazaltos magma keletre folyt, csatornázódott el és szintén egy széthúzásos feszültség alatt lévő, úgynevezett riftzónában tört a felszínre.

A vulkánkitörések előtt vannak jelzések, amelyek egyre intenzívebbé válnak és ekkor a vulkán vagy vulkáni terület készülségi szintjét emelik. Sok esetben elérkezik egy olyan időszak, amikor a jelzések már nagyon intenzívek, a szakemberek feszültsége nő, hiszen döntési helyzetben vannak: kitör a vulkán, elrendeljenek kitelepítést vagy várjanak még. Ez a döntési ablak a vulkáni működés esetében egyedi, mert nem lehet modellszámításokkal megbecsülni mikor és mi fog bekövetkezni. Amíg egy hurrikán vagy tájfun esetében folyamatosan lehet követni annak útját, ebben az esetben a bizonytalanság jelentős. 2010. október végére az indonéziai Merapi vulkán esetében már minden jel azt mutatta, hogy egy nagyon nagy kitörés következhet, olyan, amire nem volt az elmúlt évtizedekben példa! A vulkanológus feladata nem könnyű, előrejelezni olyat, amit még nem tapasztaltak, megmondani, hogy mikor indítsák a költséges és pszichikailag rettentően érzékeny kitelepítést. Surono, a vulkanológus csapat vezetője végül október 25-én a legmagasabb készülségre tett javaslatot, ami alapján tízezreket telepítettek ki a vulkán körzetéből. Egy nappal később hatalmas erővel tört ki a tűzhányó és az időben meghozott döntésnek volt köszönhető, hogy csökkenteni lehetett a halálos áldozatok számát. Hasonló helyzetben volt Richard Robertson is a 2024-es La Soufrière vulkán (Saint Vincent, Karibi-szigetek) kitörése előtt. Az időben meghozott döntése és a gyors kitelepítés mentett meg több ezer lakost és kerülték el az 1979-es katasztrófát.

Egy vulkán vagy vulkáni terület körül egyre intenzívebben érkező jelek azonban nem minden esetben vezetnek vulkánkitöréshez, ami szintén egy bizonytalanságot jelentő sajátosság. Erre példa a Nápoly közeli Campi Flegrei, ahol egy a laikusoknak nem különösebben feltűnő vulkán, egy hatalmas kaldera található. Két nagy robbanásos kitörés alakította ki, az első 39 ezer éve történt (Campaniai Ignimbrit kitörés), amikor mintegy 150–200 köbkilométer magma tódult a felszínre, ennek a vulkáni hamu anyagát Moszkva környékén is megtalálták. Ezt 15 ezer éve követte egy másik nagy robbanásos kitörés (Nápolyi Sárga Tufa kitörés), ami a mai 12–15 kilométer széles kalderát kialakította. Ezt követően ciklusokban voltak kisebb kitörések, köztük több ezer éves szünetekkel. Pozzuoli városában 1538-ban történt vulkánkitörés jó 3000 év nyugalom után. Sokak szerint ez a kitörés egy újabb aktív vulkáni kitörési ciklust indított el. A jelek azóta is nyugtalanítóak. 1983–84-ben olyan krízishelyzet alakult ki a folyamatos földrengések és a több mint másfél méteres gyors felszínemelkedés miatt, hogy több tízezer lakost telepítettek ki Pozzuoliban. A vulkánkitörés azonban nem következett be.

A felszín süllyedni kezdett, a földrengések is ritkultak. 2005. óta azonban ismét, ha nem is annyira gyors változások indultak: most már újra meghaladja a másfél métert a felszínemelkedés és egyre nagyobb földrengések (>4 M) pattannak ki. A Pozzuoli-öböl kikötői szárazulatra kerültek és egyre nő a feszültség: egyesek vulkánkitöréstől tartanak, sőt a média már mindent elsőprő szupervulkáni kitörést vizionál, mások az erős földrengésektől tartanak. A tudomány szerepe itt is kulcsfontosságú. Egyrészt ki kell mondani, hogy ez nem szupervulkán, másrészt rá kell mutatni, hogy jelenleg nincs arra utaló jelzés, hogy magma nyomulna fel. A földrengések alapvetően a felszínemelkedéshez kapcsolódnak. Ugyanakkor azt is el kell mondani, hogy a mélyben, mintegy 8–9 km mélységben van egy magmatározó és az onnan kikerülő, illetve a felforrósodó felszín alatti gázok és oldatok okozzák a felszín kidomborodását és az ismétlődő földrengésrajokat. Ha rövid távon talán nem is, de hosszabb távon nincs kétség, hogy vulkánkitörésre is fel kell készülni. A nagy kihívás azonban az, hogy mikor jön ez a fordulóponthoz. A Campi Flegrei a Föld egyik legjobban megfigyelt vulkánja, így valószínűleg észlelni lehet, amikor a jelzések már magma mozgására utalnak.

Az előjelek, még az egyre intenzívebbek sem mindig vezetnek vulkánkitöréshez. 2025. tavaszán például erős földrengésraj zajlott (néhány hónap alatt több mint 20 ezer földrengést regisztráltak) a görög Santorini vulkáni szigettől északkeletre. A görög szakemberek szerint magmamozgás okozta az erőteljes földmozgást, de ahogy 2011-ben, most sem bukkant felszínre magma. Nincs kétség azonban afelől, hogy 1950. után ez majd újra megtörténik, de ott a bizonytalanság, hogy mikor. 1984-ben Pápua-Új Guineában is riasztást adtak ki, amikor a Rabaul vulkán térségében intenzív földrengésraj pattant ki, a rengések havi száma meghaladta a tízezret. Mindenki készült a nagy vulkánkitörésre, de aztán hirtelen megszakadtak a jelek. Tíz évvel később aztán nagy erővel tört ki a vulkán úgy, hogy előtte csak 27 órával fogták az földrengésjeleket.

Kiszámítható bizonytalanság? Nem egyszerű a vulkánkitörés előrejelzés, ez még akkor is igaz, amikor olyan vulkánról van szó, aminek működését jól értik, jól ismerik, ahol kiváló szakember gárda dolgozik, a legjobb műszerekkel. Az izlandi Reykjanes-félszigeten 2021. márciusa óta már 12 alkalommal indult vulkánkitörés, az első fél évig tartott, aztán rövidebbek voltak a kitörési szakaszok. 2023. december óta már a Sundhnúkur hasadék a vulkáni működések színtere. A kitörések előtt mindig folyamatos felszínemelkedés történik a Svartsengi területén. Ennek mértékéből modellszámításokkal lehet megbecsülni a felnyomuló magma mennyiségét és már azt is tudjuk, hogy legalább 12 millió köbméter friss magma felnyomulás esetén indulhat vulkánkitörés. Ez azonban csak egy minimum érték, az eddigi megfigyelések szerint 12–31 millió köbméter kell egy új vulkánkitöréshez, ami azt jelenti, hogy előrejelzést sem napi, sem heti pontossággal nem lehet adni, ahogy haladunk előre idővel, úgy lehet emelni lassan

a készültséget. A vulkánkitörés itt mindig hirtelen indul el, volt amikor csak fél órával, máskor nem több mint 2 órával a kitörés előtt kezdtek jönni az erre utaló jelzések. A hawaii Nagy-szigeten 2024. december 23-án indult egy különleges vulkáni működés, amire utoljára 1983-ban volt példa. A kitörések pulzálva jönnek, két lávaszökőkút kitörés között néhány nap, egy-két hét telik el. A nyugalmi időszakban itt is emelkedik a felszín, majd a kürtőkben magma jelenik meg, ami hol kifreccsen, hol egy kicsit túlsordul a peremeken. Aztán csökken a magmatest felszíne, majd újra emelkedik. Ez egy gázdugattyúszerű folyamat, amit a kürtőcsatornát kitöltő magmában mozgó gázok irányítanak. Ez a gázdugattyú folyamat eltarthat akár 1–2 napot is, amikor hirtelen erősödik a lávafröccs tevékenység és fokozatosan ez átmegy 100–500 méter magasba felcsapó lávaszökőkút kitörésbe. A látványos, rengeteg kíváncsi helyi lakost és turistát vonzó kitörés fél napig, másfél napig tart, majd ismét elcsendesül a Halema'uma'u kráter. Bár lenne igény rá, de egyszerűen nem lehet pontosan megmondani, hogy mikor lesz a következő vulkánkitörés, mikor utazzanak oda az emberek.

A vulkánkitörések persze nem mindig turistacsalogatóak, sok esetben emberéletet veszélyeztetnek. Bár sokáig a vulkánkitörésekről nem volt sok tudomás, véletlen jelenségnek tartották, az 1883-as Krakatau kitörés viszont már megrendítette a társadalmat. A hatalmas kitörés több mint 36 ezer emberáldozatot szedett, a globális légköri hatást, például a lökeshullámot műszerekkel Európában is észlelték. Aztán jött az 1902-s karibi tragédia, amikor egy teljes város pusztult el. A Mt. Pelée (Martinique, Karibi-szigetek) kitörése során először figyeltek meg izzófelhőt, forró gázok és vulkáni törmelékanyag keverékét, ami a vulkán oldalában húzódó völgyben zúdult le. Innen vált ki egy gázokban telített piroklaszt-torlóár, ami St. Pierre tengerparti város teljes lakosságát, mintegy 28 ezer embert ölt meg pillanatok alatt. Ez hívta fel és indította el a folyamatos vulkán megfigyelés fontosságát, alakultak meg a Vulkánmegfigyelő Obszervatóriumok. Az 1980-as években, különösen a Mt St Helens kitörését követően a vulkanológiai kutatások is erősebbé váltak. 1985-ben a kolumbiai Nevado del Ruiz vulkánon is dolgozott egy olasz vulkanológus csapat és készítettek egy veszélytérképet, amelybe bejelölték a folyóvölgyeket, ahol különösen nagy veszélyt látták az iszapárak lerohanásának. A folyóvölgyek mentén persze települések is sorakoztak, többek között a vulkántól mintegy 40 kilométer távolságban lévő Armero. A figyelmeztetés megjött, de a város vezetői nem vették figyelembe. November 13-án csupán egy kisebb kitörés történt, azonban ez megolvasztotta az 5321 méter tengerszint feletti magasságban lévő vulkán tetejét borító jeget és havat. Az olvadékvíz keveredett a vulkáni törmelékanyaggal és mindent elsöpörve zúdult le pontosan a vulkanológusok által is megjelölt folyóvölgyekben. Armero városát felkészületlenül érte az iszapos zagy, 22 ezren estek áldozatul a települést betérítő laharnak. Megdőbbenés fogadta a katasztrófát, az Amerikai

Földtani Szolgálat gyorsan reagált és felállított egy gyorsan, bárhol bevethető, elsősorban a fejlődő országok vulkáni előrejelzését segítő szakértői csoportot az USAID programon belül.

A humanitárius szakmai segédnyújtásra alakított VDAC (Volcano Disaster Assistance Program) oktatással, műszerekkel segített számos országban, amikor a Fülöp-szigetetről jött a hír, hogy egy 1990-es földrengést követően egyre több jel érkezik egy hosszan szunyadó vulkán, a Pinatubo környezetéből. Több mint 500 év nyugalom után tűnt úgy, hogy felébred a tűzhányó, aminek közelében egy jelentős amerikai katonai támaszpont is volt. A VDAC kiváló vulkanológus szakembereket küldött az országba. A vulkánról semmi információ nem állt rendelkezésre, ezért gyorsan fel kellett mérni, milyen kitörés várható, mit mutatnak a korábbi kitörések kőzetei. Egy hónap alatt elkészült a vulkáni veszélytérkép, a vulkanológusok feltárták, hogy a fő veszélyt a vulkán oldalán lezúduló piroklaszt-árak és a folyóvölgyekben lerohanó iszapárak jelentik. A következő lépés az volt, hogy meggyőzzék a lakosságot, ezen belül az őslakosokat, hogy el kell hagyniuk a tűzhányó környezetét. Meg kellett őket győzni, hogy bár eddig nem volt tapasztalatuk semmilyen vészhelyzetről az erdő borította hegy körül, most valami olyasmi jön, ami életükbe kerülhet. A meggyőzéshez felhasználták a francia Krafft házaspár által készített ismeretterjesztő videofilmeket, amelyek természetes módon mutatták be a piroklaszt-árak pusztító hatását. Ennek az erőfeszítésnek köszönhető, hogy több tízezer lakost sikerült kitelepíteni, emberéletet óvtak meg és csökkentették a károkat. A Pinatubo példa rámutatott arra, hogy bár a nagy kitörés idejét nem lehetett előrejelezni, a pontos vulkanológiai munka, közéleti értelmezés, továbbá a veszélyforrások azonosítását követően a hatékony kommunikáció segít a lakosság felkészítésben és kockázatcsökkentésben.

Zárszó

A potenciálisan romboló természeti folyamatok között a földrengések és vulkánkitörések sok szempontból különböznek. A gyarapodó népesség miatt ma már százazreket, milliókat fenyeget egy nagy földrengés vagy nagy vulkánkitörés. Az bizonyos, hogy a jövőben fel kell készülni olyan eseményekre, amelyek eddig nem látott és tapasztalt veszélyt jelentenek. A fentiekben bemutattam, hogy az előrejelzést, ami egy valószínűségi becslést ad egy erős földrengésre vagy vulkánkitörésre, sok bizonytalanság övezi. Nincs más út, mint bízni a tudományban, a szakemberekben, ösztönözni a 'békeidőben' végzett kutatásokat, hogy adott esetben a legnagyobb szakértelemmel lehessen értelmezni az érkező jeleket és/vagy felkészíteni a lakosságot a veszélyforrásokra. Mert a tudás számít, a gyakorlatok életet menthetnek, a cselekvésre lehet, hogy csak néhány perc áll majd rendelkezésre.

Megérteni, előrejelezni, kezelni		
	Földrendések	Vulkánkitörések
Tudomány	Aktív tektonikai és szeizmikus kutatások folytatása a földrendések kipattanásának körülményeinek és mechanizmusának jobb Múltbeli földrendések, azok gyakorisága, nagyságának, visszatérési idejének felmérése Lemeztektonikai helyzet Földtani-szerkezeti (tektonikai) helyzet tisztázása Aktív törésvonalak és azok típusának azonosítása Szeizmikus veszélytérkép készítése Szeizmikus kockázattérkép készítése	Aktív vulkanológiai kutatások folytatása a vulkáni működés okainak és lefolyásának jobb megismerésére Kőzettani vulkanológiai kutatások a magmaképződés, a magmatározó folyamatok, a vulkánkitörést megelőző és azt okozó folyamatok és azok időbeliségének, a kitörés jellegét meghatározó folyamatok jobb megismerésére, a felszínen is fogható és előrejelzésben kulcsfontosságú jelekkel való összekötésére Lemeztektonikai helyzet Múltbeli vulkánkitörések gyakoriságának és azok folyamatainak feltárása Vulkáni veszély tényezőik azonosítása Korábbi vulkánkitörések hatásának felmérése Vulkáni veszélytérkép készítése
Felkészülés	Szeizmikus veszélytérkép és kockázattérkép alapján a földrendéseknek leginkább kitett területek azonosítása Földrendésgépszabvány és azok betartása Építmények megerősítése Lakossági felkészítés elméletben és gyakorlatban: mi a földrendés, mit kell tenni Cselekvési terv kidolgozása különböző nagyságú földrendések esetére, beleértve kitelepítést is Gyors figyelmeztetési rendszer (Shake-Alert) kialakítása Tudomány alapú kommunikáció	Vulkáni veszélytérképek alapján a kiemelten kitett területek azonosítása, adott esetben védekezést segítő építmények (földsáncok, csatornák stb.) kiépítése Műszeres monitorozási rendszer kiépítése Online tájékoztatás monitorozási adatokkal, Veszélykezelési forgatókönyvek, szükség esetén kitelepítési terv kialakítása Lakossági tájékoztatás és gyakorlatok Folyamatos hiteles tájékoztatás Tudomány alapú kommunikáció
Veszélykezelés	Fészkekmélység, epicentrum, magnitúdó gyors meghatározása és kommunikálása SMS-Mobil applikációs gyors figyelmeztetési rendszer (Shake-Alert) jelzése Intenzitás meghatározás Mentési műveletek Folyamatos hiteles tájékoztatás	Készültségi szint emelése Gyors figyelmeztetés (SMS, applikáció) Szükség esetén kitelepítés Védekezési eszközök, pl. orr-száj maszk kiosztása, mentési műveletek Folyamatos hiteles tájékoztatás

4. ábra. Földrendés és vulkáni veszélyre való felkészülés a tudományos ismeretek megszerzésétől a felkészülésen át a veszélykezelésig.

Irodalom

- Aspinall, WP., M., A., Hincks, TK., Mahony, SH., Pooley, J., F. Nadim, E. S., & Sparks, RSJ. (2011). Volcano Hazard and Exposure in Track II Countries and Risk Mitigation Measures - GFDRR Volcano Risk Study. The World Bank.
- Czecze Barbara, Győri Erzsébet, Timkó Máté, Kiszely Márta, Süle Bálint, Wéber Zoltán (2023): A Kárpát-Pannon régió szeizmicitása: aktualizált és átdolgozott földrengrés-adatbázis. Földtani Közlöny, 153, 279-296.
- Koroknai Balázs, Wórum Géza, Tóth Tamás, Koroknai Zsuzsa, Németh Viktória, Kovács Gábor (2023): A neotektonikus fázis deformációi Magyarországon. Földtani Közlöny, 153, 313-334.
- Koroknai Balázs, Kovács Gábor, Wórum Géza, Békési Eszter, Győri Erzsébet, Czece Barbara, Wéber Zoltán, Porkoláb Kristóf, Bozsó István, Szárnya Csilla, Szűcs Eszter, Németh Viktor, Balázs László, Szabó Gergely, Tóth Tamás (2023): Magyarország szeizmotektonikai viszonyai és veszélyeztetettsége. Földtani Közlöny, 153, 335-352.
- Loughlin SC, Sparks S, Brown SK, Jenkins SF, Vye-Brown C, eds. (2015): Global Volcanic Hazards and Risk. Cambridge University Press.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2017). Volcanic Eruptions and Their Repose, Unrest, Precursors, and Timing. Washington, DC: The National Academies Press.
- Tilling, R.I. (2008): The critical role of volcano monitoring in risk reduction, Adv. Geosci., 14, 3–11
- Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium: <http://seismology.hu/index.php/hu/> (2026.01.28 elérés)
- USGS Latest Earthquakes: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquakes> (2026.01.28 elérés)
- CSEM-EMSC Earthquakes: <https://www.emsc-csem.org/> (2026.01.28 elérés)
- EFEHR Earthquake hazard & risk across Europe: <https://www.efehr.org/start/> (2026.01.28 elérés)
- USGS ShakeAlert földrengrés korai figyelmeztetési rendszer: <https://www.shakealert.org/> és <https://earthquake.usgs.gov/data/shakealert/> (2026.01.28 elérés)
- Smithsonian Global Volcanism Program: <http://volcano.si.edu/> (2026.01.28 elérés)

Az ökológia és az ökonómia vadházassága

Kerekes Sándor

Neumann János Egyetem

sandor.kerekes@uni-corvinus.hu

A gyökerek

Három évtizede, ha tehetem, az előadásomat egy flipcharttal kezdem, amit 1994-ben az egyetemi szobámban David Pearce készített. David nekem és PhD hallgatóimnak magyarázta, hogy indokolatlan az a világvége hangulat, ami általában a környezetvédelemmel foglalkozó akadémiai világot jellemzi. A világvége hangulat azóta is vissza-vissza köszön, hazai és külföldi szerzők tömege riogat bennünket azzal, hogy már csak néhány évünk maradt és ideérnek a külfölele katasztrófák. A riogatók a klímakatasztrófát, a nyersanyagszűkösséget vagy éppen a biodiveztás tragikus összeomlását vízionálják.

Ha az említett flipchart szerzőjéről, David Pearcról akarjuk megtudni, hogy ki volt, a szokásos rutinnal megnyitjuk a google-ben a Wikipedia megfelelő oldalát és talán meglepődünk, hiszen az általam a szakma ikonjaként tisztelt tudósról mindössze 2500 karaktert találunk. Mi lehet az oka, hogy az egyébként világhírű, a legmagasabb Brit kitüntetésekkel elismert tudós, aki ugyan csak 64 évet élt, mindössze 2500 karaktert kapott a Wikipédiában. Gondolhatnánk, hogy a véletlen játszik velünk, de valószínűleg nem. Ha a világvége hangulatot erősítette volna, nyilván több figyelmet érdemelt volna. Dennis Meadows-ról (Meadows és mtsai., 1972) körülbelül 5200 karaktert találunk, szerencsére Ő még él, de szinte egyidős David Pearccel (Pearce és mtsai., 2013). Meadows PhD-t szerzett menedzsmentből, de valójában rendszerelmélettel és modellezéssel foglalkozik. A harmadik tudós, akit említek a sorban Partha Dasgupta (Dasgupta, 2021), aki a Wikipédia szerint Brit közgazdász, és neki 14 000 karaktert szánt a Wikipédia. Dasgupta matematikusként végzett, de jelenleg ökológiai közgazdászként tartják nyilván. Valójában a három gondolkodó közül csak David Pearce volt eredetileg elméleti közgazdász, a többiek nem.

Az UCL, nyilván nem szándékosan, de mégis választ adott fenti kérdésemre: “David Pearce közgazdász [UCL Economics] szenvedélyesen törődött a környezettel, de soha nem hagyta, hogy az érzelmei felülkerekedjenek az ésszerűségén – ez a tulajdonság pedig bosszantó lehetett azok számára, akik kevésbé fegyelmezett gondolkodásúak voltak.” Ez a mondat világítja meg, hogy miért ilyen szűkkeblű az utókor David Pearccel, és talán azt is, miért olyan nagylelkű a közbeszéd a másik két kiváló tudóssal. Indokolatlan lenne a Wikipédiánál ennyit időznünk és azon keseregni, hogy miért van ilyen kevés információ Da-

vid Pearcről, de sajnos a 2021-ben megjelent Dasguptha Reviewban (Dasgupta, 2021) még hivatkozást sem találunk David Pearce műveire, pedig a Review nagy része azokról az elméletekről szól, amiket eredetileg David Pearce talált ki (Kerekes, 2023). Ez a “mulasztás” késztetett ennek a viszonylag hosszú bevezetőnek a megírására. Jó esetben a hivatkozás hiánya csak figyelmetlenség, de a tudománytörténet majdnem olyan barátságtalan, mint a politika. Johann Gregor Mendel és Festetich Imre ugyanannak a tudományos társaságnak voltak tagjai és bár Festetich már meghalt, amikor Mendel a genetikai elméletét kidolgozta, mégis nehéz elhinni, hogy nem volt rá hatással mindaz, amire Festetich empirikus megfigyelésekből rájött, ráadásul nem a borsó hanem egy annál bonyolultabb élőlény, a birkák genetikájának a tanulmányozásán keresztül. Lehet, hogy a szegény sorból származó Ágostonrendi szerzetes Mendel tényleg nem tudott Festetich eredményeiről, noha mindketten kötődtek a Brünni tudományos társasághoz. Mendel eredményei sem kaptak kellő figyelmet életében (Poccai és mtsai., 2014).

Az MI a tudományos felismerések eredetéről

Ma már segít a mesterséges intelligencia, ha többet akarunk megtudni a két tudós elméletének a kölcsönhatásairól. Az MI arra a kérdésemre, hogy van-e kapcsolat Dasgupta és Devid Pearce munkássága között, a következőt válaszolta: “David Pearce munkája jelentősen befolyásolta Partha Dasgupta Biodiversity Review című művének megírását, különösen abban, hogy a gazdasági keretrendszerek hogyan alkalmazhatók a környezeti kérdésekre. Pearce hangsúlyozta a természeti erőforrások és az ökoszisztémák értékelésének fontosságát, ami segített alakítani a biodiverzitás csökkenésével és a természetvédelmi gazdaságtan kérdéseivel kapcsolatos párbeszédet Dasgupta művében. Pearce megközelítése az ökológiai és gazdasági perspektívák integrálására összpontosított, és a politikai döntések jobb megalapozása érdekében a biodiverzitás monetáris értékének meghatározását szorgalmazta. Ez a perspektíva ösztönözte a környezetgazdálkodással kapcsolatos kompromisszumok átfogóbb megértését, és rávilágított a fenntartható fejlesztési gyakorlatok szükségességére. Összefoglalva, Pearce publikációi alapvető gazdasági indoklást nyújtottak, amely alátámasztotta Dasgupta tanulmányában a biológiai sokféleség fontosságáról és a hatékony megőrzési stratégiák szükségességéről előterjesztett érveket.” A természetes intelligenciából nekem jutott rész, és ötven év oktatási tapasztalat elég ahhoz, hogy felfedezzem David Pearce hozzájárulását a Review-hoz. Nehéz elfogadni, hogy David Pearce egyetlen munkája sem került be a hivatkozások közé! David Pearce, ha még élne, pedig biztosan egyetértene Dasguptával: „A világ átlagembereinek anyagi életszínvonala ma sokkal magasabb, mint valaha is volt; valójában soha nem volt még ilyen

jó dolgunk. ...azonban a bioszférát olyan mértékben degradáltuk, hogy a javakkal és szolgáltatásokkal szemben támasztott igényeink messze meghaladják a bioszféra képességét, hogy azokat fenntartható módon kielégítse. Ez azt sugallja, hogy a legjobb és a legrosszabb időkben is élünk. (Dasgupta 2021, p.11.).

Őrült vagy közgazdász?

Talán nem véletlen, hogy a rendszerelmélet atyjának számító Boulding sokféle tanulmányokat folytatott, kiváló egyetemeken, de végül nem szerzett diplomát egyikén sem. Nem tudom, miért nem szerzett diplomát, de talán azért, mert nem hagyta magát beszorítani a diszciplináris keretek közé. Ha részletesebben megvizsgáljuk a növekedésről vallott nézeteit, eljutunk egy előadásához, amit 1953-ban tartott Kanadában. (*Kenneth E. Boulding, Toward a General Theory of Growth* (1953), é. n.) Azt gondolom, hogy félreértés Boulding nézeteit növekedésellenesnek tekinteni. Valójában a következőket mondta: „Először az egyszerű növekedés elemzésével foglalkozunk. Itt a fő probléma az, hogy megtaláljuk a növekedés „törvényét”, amely leírja a növekedési görbét, vagyis amely a növekvő változó nagyságát az idő függvényeként fejezi ki. Az egyszerű növekedés talán legegyszerűbb esete az állandó ütemben történő növekedés, például egy tőke-összeg állandó kamatlábbal történő növekedése. Ebben az esetben a növekedési függvény az egyszerű exponenciális. A folyamatos, állandó ütemben történő növekedés azonban ritka a természetben és még a társadalomban is. Valójában azt lehet mondani, hogy az általános emberi tapasztalatok alapján minden növekedésnek végül csökkenő növekedési ütemmel kell szembesülnie. A növekedés előrehaladtával a növekvő objektumnak végül olyan körülményekkel kell szembesülnie, amelyek egyre kevésbé kedvezőek a növekedésnek. Ha ez nem lenne igaz, akkor végül csak egy objektum maradna az univerzumban, és legalábbis abban a pillanatban, hacsak az univerzum maga nem tud végtelenül növekedni, a növekedésnek véget kellene vetnie. Ezért nem meglepő, hogy gyakorlatilag minden empirikus növekedési görbe a jól ismert „logisztikus” alakot mutatja, az abszolút növekedés eleinte kicsi, majd a maximális értékig emelkedik, és végül nullára csökken, amikor a változó maximális értéke elérhetővé válik. Számos egyenletet javasoltak egy ilyen görbe leírására, de egyik sem tűnik nagyon biztos elméleti alapokon nyugvónak. A növekedési egyenletek azonban csak a növekedést tudják leírni, soha nem képesek azt értelmezni vagy megérteni.” (*Kenneth E. Boulding, Toward a General Theory of Growth* (1953), é. n.) <https://www.panarchy.org/boulding/growth.html>

A fenti idézetből világos, hogy Boulding nem általában a növekedésről beszél, hanem az exponenciális növekedésről, amiről még a legvadabb közgazdászok is tudják, hogy nem tarthat örökké.

Kenneth Bouldingnak tulajdonítanak egy szellemes mondást, amit az amerikai Kongresszus vitájában John S. Steinhart, a geológia és a környezettudomány professzora idézett, de érdemes figyelni a szövegkörnyezetet, mert a geológus professzor gondolatai is mélyreható ismeretekről tanúskodnak. Boulding akkor már olyan nagy név volt, hogy nyilván segítette meggyőzni a kételkedőket csupán a nevének az említése is: „Itt nem fogok belemenni a növekedés vagy nem növekedés vitatott kérdésébe, de a közeljövő tervezése során szükséges megismételni azt a közhelyes megállapítást, hogy a véges földön lehetetlen a tüzelőanyagok és ásványi erőforrások termelésének végtelen megduplázása. Amíg nem értjük meg, honnan fogjuk beszerezni az energiaellátásunkat, nem tudjuk biztosan megmondani, hogy a növekedés lassulásának napja elhalasztható-e egy ködös jövőbe – mondjuk 1000 évre –, vagy pedig hamarosan számolnunk kell a növekedés bizonyos mértékű csökkenésével. Ahogy Kenneth Boulding közgazdász megjegyezte: „Aki azt hiszi, hogy a véges világban az exponenciális növekedés örökké folytatódhat, az vagy örült, vagy közgazdász.” De a növekedés egy része nem áll közvetlen ellenőrzésünk alatt. A világ népességének körülbelül 6%-ával az Egyesült Államok a világ éves üzemanyag-ellátásának csaknem egyharmadát fogyasztja. Ez a világ üzemanyag-ellátásának kisebb hányada, mint amit 20 vagy 40 évvel ezelőtt fogyasztottunk. Ezek a számok a világ más részein zajló iparosodás növekedését tükrözik. Arra kell számítani, hogy ez a növekedés a világ más részein is folytatódik – sőt, ösztönözni is kell –, mert egy olyan világ, ahol 20% gazdag és 80% szegény, érett a tűrhetetlen konfliktusokra. De ez az energia- és üzemanyag-felhasználás növekedése máshol azt jelenti, hogy már nem feltételezhetjük, hogy az importált üzemanyagok olcsók lesznek és könnyen beszerezhetők.” (*Energy Reorganization Act of 1973, 1973*)

„Aki azt hiszi, hogy a véges világban az exponenciális növekedés örökké folytatódhat, az vagy örült, vagy közgazdász.” Boulding idézetét érdemes megismételni Sajnos olyan forrást, ahol Boulding maga mondja, vagy írja le az idézetet, nem találtam. Talán mondott ilyet, de ahogy a „láthatatlan kéz” fogalom kísérti Adam Smith-et, úgy követi Bouldingot a „véges világ”-ról szóló kijelentés. Smith a *Welth of nations* (Smith, é. n.) című művében egyszer használja az „invisible hand” kifejezést a 365. oldalon, de mindenki csak ezt emlegeti vele kapcsolatban. Miként Adam Smith kijelentését, úgy Bouldingét is sokszor félre-magyarázzuk. Érdekes talán tétélesen idézni Boulding híres művéből, ami kicsit korábban, de biztosan ő írt (Boulding, 1966) a közelgő „úrhajó” gazdasággal kapcsolatban: „A rendszerek nyitottak vagy zártak lehetnek számos bemeneti és

kimeneti osztály tekintetében. Három fontos osztály az anyag, az energia és az információ. A jelenlegi világgazdaság mindhárom tekintetben nyitott. Minden emberi társadalom hasonlóképpen nyitott rendszer. Bemenetet kapnak a földről, a légkörből és a vizekből, és kimenetet adnak ezeknek a tárolóknak; belső bemenetet is termelnek csecsemők formájában, és kimenetet holttestek formájában. Mivel képesek bemenetet felvenni és kimenetet leadni, egy ilyen nyitott rendszer végtelenül fennmaradhat.” (Boulding, 1966) 2. oldal Ez elég maszív érvnek tekinthető a fenntarthatóság igenlése mellett, vagyis Boulding kijelentéséből nem szabadna levezetni az ökológiai közgazdászok nemnövekedés elméletét és Georgescu Roegen entrópia tételét sem.

Bouldingot még ma is érdemes tovább olvasni: „Ha saját jövőnket nem vesszük figyelembe, akkor biztosan nem ésszerűtlen, hogy az utódok jövőjét még kevésbé vegyük figyelembe, még akkor sem, ha szavazati jogot adunk nekik. Ha ezt évi 5 százalékkal diszkontáljuk, az utódok szavazata vagy dollárja 14 évente felére csökken, ahogy a jövőbe tekintünk, és már száz év után is elég kicsi lesz – csak körülbelül 1,5 cent dolláronként. Ha hozzáadunk még 5 százalékot a bizonytalanság miatt, akkor már unokáink szavazata is szinte jelentéktelenné válik. Természetesen vitathatjuk, hogy az etikus dolog az, ha egyáltalán nem diszkontáljuk a jövőt, hogy az idődiszkontálás főként a rövidlátás és a perspektíva eredménye, és ezért egy illúzió, amelyet az erkölcsös ember nem tolerálhat. Ez azonban egy nagyon népszerű illúzió, amelyet mindenképpen figyelembe kell vennünk a politikák kidolgozásakor.” (Boulding, 1966)

Amit tehát érdemes volna a pénzügyi világ szemére vetni, Boulding több, mint hetven éve megfogalmazott gondolatai alapján, hogy a pénzügyi gyakorlat miért használja máig a jelenérték számítást állandó diszkontlábbal, ha a valóságban az exponenciális növekedés nem létezhet? Sajnos a zéró növekedés hívei nem a jelenértékszámítás logikáját tartják hibásnak. Boulding az idézett cikkében leírja a strukturális növekedés természetét fizikai és biológiai és társadalmi analógiákat felhasználva. Etekintetben valóban tekinthetnénk akár az ökológiai közgazdaságtan atyjának is, de semmiképpen nem neki tulajdonítható a növekedésellenes elmélet megalapozása.

A zéró növekedés „diszkrét bája”

A gazdaságban a globalitás és a méretgazdaságosság nyújtotta előnyök kihasználása szinte minden mást felülír. Amint a nemnövekedés elmélet francia professzora írja: „Társadalmunk össze fonódott egy végtelen, felhalmozáson alapuló rendszerrel, amely növekedésre van ítélve. Amint a növekedés lelassul vagy megáll, elkezdődik a válság, kitör a pánik. ... Ez a kényszer a növekedést valami

fojtogató vasfűzővé változtatja, a foglalkoztatás, a nyugdíjrendszer, a közszolgáltatások pedig mind-mind feltételezik a termelés folyamatos növekedését. ... Három hozzávaló szükséges, hogy a fogyasztói társadalom tovább róhassa ördögi köreit: a fogyasztási kedvet generáló reklám, az eszközöket megteremtő hitel, és a gyors, beépített elavulás, mely újratерemti a szükségletet.” (Latouche, 2009)

Serge Latouche a “Nemnővekedés diszkrét bája” című mű szerzője valószínűleg jól látja a probléma lényegét, de a megoldási javaslata sajnos vágyálom, kézenfekvőnek látszik, hogy naív és végrehajthatatlan annak ellenére, hogy próbálja tompítani állításait: “A degrowth nem minden gazdasági tevékenység megszüntetését, hanem inkább gazdasági céljaink és gyakorlataink átalakítását jelenti. Az anyagi növekedés könyörtelen hajszolásán alapuló gazdaságról áttérünk egy olyan gazdaságra, amely a társadalmi jólétet, az ökológiai fenntarthatóságot és az emberi kiteljesedést helyezi előtérbe.” (Latouche, 2009)

Amit Latouche és követői megfogalmaznak az inkább vágyálom, mint lehetőség. A világ mégis produkál csodákat, vannak olyan országok (Pl. Egyesült Királyság) amelyek gazdaságának reális kilátása a „nulla” növekedés. A “Degrowth” egy politikai, gazdasági és társadalmi mozgalom, amely ökológiai közgazdaságtani, fogyasztásellenes és antikapitalista eszméken alapul. Állandósult gazdaság, olyan gazdaság, amely állandó fizikai vagyon (tőke) készletből és állandó népességszámból áll. Nyolc ország – Kína, USA, Oroszország, Japán, Németország, Franciaország, Egyesült Királyság és Olaszország – még mindig a globális GDP 50 százalékát és a világ népességének 35 százalékát adják és a legtöbbjüknel már most is negatív a nettó születésszám, és a születési és halálozási arányok jelenlegi tendenciái alapján 2030-ra várhatóan mindegyiküknel ez a helyzet áll majd elő. A demográfiai folyamatok csökkenteni fogják a munkaerőt, miközben az eltartottak száma nőni fog. Emiatt az adók emelésére lehet szükség. A kereskedelmi lehetőségek beszűkülhetnek, a világ a protekcionista politikák, például a vámok alkalmazása révén visszahúzódhat a globalizációtól. Mindezek ellenére, a jelzett országok zero növekedés körüli állapota is felveti azt a problémát, hogy nyilván nincs olyan Brit, német vagy amerikai politikus aki elég bátor lenne ahhoz, hogy elmondja a nyilvánosságnak az igazságot, és ennek megfelelően igazítsa ki az országa jövőjével kapcsolatos elképzeléseit.

A Jevons paradoxon és a szétválás

A 19. századi közgazdász, William Stanley Jevonsról elnevezett Jevons-paradoxon kifejezetten arra a megfigyelésre utal, hogy az erőforrások hatékonyabb felhasználása az erőforrások teljes fogyasztásának növekedéséhez vezethet, ahelyett, hogy csökkentené a felhasználást. Jevons ezt eredetileg a szén esetében

figyelte meg, és megállapította, hogy a hatékonyabb gőzgépek több szénfogyasztáshoz vezettek, nem pedig kevesebbhez. (Jevons és mtsai., é. n.)

A jelenlegi diskurzusban már nem közvetlenül a Jevons paradoxonról beszélünk, hanem az úgynevezett visszapattanó hatásról. Ez egy kicsit tágabb kategória, amely a következőket foglalja magában:

1. Közvetlen visszapattanó-hatások: amikor a hatékonyság javulása közvetlenül ugyanazon erőforrás fokozottabb felhasználásához vezet (pl. az üzemanyag-hatékonyabb autók miatt az emberek többet vezetnek)
2. Közvetett visszapattanó-hatások: amikor a hatékonyságból származó megtakarításokat máshol költik el, ami más környezeti hatásokkal jár (pl. az energiaszámlákon megtakarított pénzt repülőutakra költik)
3. Gazdaságszintű visszapattanó-hatások: amikor a hatékonyság javulása megváltoztatja a termelési módszereket, az árakat és a fogyasztási szokásokat a gazdaság egészében.

A Jevons-paradoxon a közvetlen visszapattanás erős példájának tekinthető, ahol a visszapattanó hatás meghaladja a 100%-ot – vagyis a hatékonyság javulása valójában növeli a teljes erőforrás-fogyasztást, ahelyett, hogy csak csökkentené a hatékonyság javulásából származó előnyöket.

A zöld növekedésről szóló diskurzus érvényessége egy abszolút, állandó, globális, nagy és elég gyors elválasztása a gazdasági növekedésnek az összes kritikus környezeti tényezőtől, nyomástól. Az áttekintett szakirodalomból egyértelműen kiderül, hogy nincs empirikus bizonyíték arra, hogy a szétválasztás jelenleg megtörténik. Ez a helyzet az anyagok, az energia, a víz, az üvegházhatást okozó gázok, a talaj, a vízszennyező anyagok és a biológiai sokféleség csökkenése esetében, amelyek esetében a szétválasztás vagy csak relatív, és/vagy csak átmenetileg és/vagy csak helyileg figyelhető meg. A legtöbb esetben a szétválasztás relatív. Amikor abszolút szétválasztás történik, az csak meglehetősen rövid időszakokban figyelhető meg, csak bizonyos erőforrások esetében, meghatározott helyeken, és mérséklés nagyon kis mértékű. Legalább hét ok van arra, hogy szkeptikusak legyünk a kellő mértékű szétválasztás bekövetkeztével kapcsolatban a jövőben.

1. Növekvő energiaköltségek. Egy erőforrás kitermelésekor az olcsóbb lehetőségek általában először a kedvezőbb árú erőforrásokat használják fel, a fennmaradó készletek kitermelése költség- és energiaigényesebb folyamat. Ezért a kitermelt energiahordozóból egyre kisebb hányad, ami szabadon felhasználható. A kitermelt erőforrás egységnyi mennyiségére jutó környezeti károk nőnek.

2. Visszapattanó hatások. A hatékonyságjavulást gyakran részben vagy teljesen kompenzálják a megtakarított pénz átcsoportosításával vagy több ugyanolyan fogyasztásra (pl. egy üzemanyag-takarékos autó gyakoribb használata), vagy más hatású fogyasztás (pl. repülőjegyek vásárlása távoli nyaralásra). Ez olyan strukturális változásokat is generálhat a gazdaságban, amelyek nagyobb fogyasztást indukálnak (pl. az üzemanyag-takarékosabb autók megerősítik az autó-alapú közlekedési rendszert a környezetbarátabb alternatívák, például a tömegközlekedés és a kerékpározás rovására).
3. Problémaváltás. Az egyik környezeti probléma technológiai megoldása új problémákat hozhat létre és/vagy súlyosbíthat másokat. Például az elektromos autók gyártása nyomást gyakorol a lítium akkumulátorok használatára, és ezek újrahasznosítása még korlátozott.
4. Elégtelen és nem megfelelő irányú technológiai változás. A technológiai fejlődés nem azokat a termelési tényezőket célozza, amelyek az ökológiai fenntarthatóságot eredményeznék, és a nem fektétlenül vezet olyan típusú innovációkhoz, amelyek csökkentik a környezeti terhelést.
- 5.. Költségáthelyezés. Néhány esetben helyileg megfigyelhető szétválasztás többnyire a terheésnek a nagy fogyasztású országokból az alacsony fogyasztású országokba történő áttérheléséből ered, amelyet a nemzetközi kereskedelem tesz lehetővé. A lábnyom alapján történő elszámolás kevésbé optimista képet mutat, és további kétségeket ébreszt a konzisztens és következetes szétválasztást illetően. (*Decoupling Debunked*, é. n.)

Georgescu Roegen és a termodinamika „negyedik törvénye”

Az ökológiai közgazdaságtan legnagyobb alakjának az ökológiai közgazdászok Nicolas Georgescu Roegent tartják. Entrópia tétele az ökológiai közgazdaságtan egyik alaptételének számít, de talán nem meglepő, eredetileg Ő sem közgazdász, hanem matematikusnak készült. Később volt alkalma elmélyülni a gazdaságtudományokban is, a méltán világhírű Schumpeter volt a mentora. Szisztematikus közgazdasági elméleti tanulmányokat azonban nem folytatott. Roegen munkája jelentős hatást gyakorolt Samuelson gondolkodására is, aki lobbizott az érdekében a közgazdasági Nóbel emlékdíjat illetően is. Jelentős részben Nicholas Georgescu-Roegen munkásságára (a termodinamika 4. törvénye 1971) vezethető vissza a ma ismert heterodox közgazdasági diszciplína az “ökológiai közgazdaságtan”. Roegen munkái több diszciplínát érintettek. A fizikát, a matematikát és a közgazdaságtant biztosan. Ahogy a tudományban sokszor előfordult már, a diszciplináris határok nehezen áttörhetőek. Roegen munkássága kétségkívül interdiszciplinárisnak tekinthető. Nem meglepő tehát, hogy a fizikusok szerint

Roegen nem egészen értette a termodinamikát, a közgazdászok szerint pedig inkább fizikus volt, mint közgazdász, többek között ezért sem lett Nobel díjas! A maga idejében jó gondolatnak tűnt, hogy Roegen, miként Samuelson, olyan tudománnyá akarta tenni a közgazdaságtant, mint amilyen a fizika. Kiváló könyvében sok érdekes gondolatot találhatunk, de valószínűleg igazuk van a fizikusoknak, akik szerint Roegen termodinamikai tételei elméletileg nem helytállóak.

Roegen különbséget tesz a szabadon felhasználható és a kötött energia között. „Kezdetben a szén kémiai energiája szabad, abban az értelemben, hogy mechanikai munkavégzésre használhatjuk. A folyamat során azonban a szabad energia fokozatosan elveszíti ezt a tulajdonságát. Végül mindig teljesen eloszlik az egész rendszerben, ahol kötött energiává válik, vagyis olyan energiává, amelyet már nem tudunk ugyanarra a célra felhasználni. Természetesen a teljes kép ennél bonyolultabb. Valójában az entrópia bevezetésének érdeme, mint új állapotváltozó, pontosan az ezzel elért analitikai egyszerűsítésben és egységsítésben rejlik. Ennek ellenére a szabad és kötött energiák másik, intuitívabb fogalmai soha nem veszítették el átlátható jelentőségüket. Mert egy tág, de lényegi perspektívából az entrópia egy izolált struktúrában a kötött energia relatív mennyiségének mértéke, vagy pontosabban, annak, hogy az energia mennyire egyenletesen oszlik el egy ilyen struktúrában. Más szavakkal, a magas entrópia egy olyan állapotot jelent, amelyben a legtöbb vagy akár az összes energia kötött, az alacsony entrópia pedig egy olyan állapotot, amelyben ennek az ellenkezője igaz.” (Georgescu-Roegen, 1971a, 5. oldal)

Roegen egyik alapvetőnek szánt magyarázata szerint: „Az energia két, minőségileg különböző állapotban létezik: hozzáférhető vagy szabad energiaként, ami felett az embernek majdnem teljes az uralma, és nem hozzáférhető vagy kötött energia formájában, amit az ember egyáltalán nem tud használni. A széndarabban tárolt kémiai energia szabad energia, mert az ember átalakíthatja hővé, vagy, ha akarja, mechanikai munkává. Ám a tengerek vizeiben raktározott fantasztikus mennyiségű hőenergia például kötött energia.” (Roegen) (Kacsuk, 2002)

A Roegen szerint „kötöttnek” tekintett, a fenti példában is említett tengerek vizének az energiájáról már kiderült, hogy talán mégis hasznosítható. Gondoljunk csak a hőszivattyúra, amivel akár a tengerek vizeiben lévő hőenergiát is hasznosíthatjuk.

Mi az, amit Roagen valóban nem vett figyelembe a fizika entrópia fogalmát illetően. Célszerű a legilletékesebbhez fordulnunk. Schrödinger szerint a Föld nem tekinthető zárt rendszernek, és ez a fenntarthatóság szempontjából öröndetes.

- Egy zárt rendszerben minden változás Entrópia növekedéssel jár: csökken a komplexitás, elveszik minden struktúra, élő fajok, növények, épületek, stb. csak hamu és füst marad.
- A Föld nem zárt rendszer, az energia/hő, dQ_{in} , a Napból érkezik, és mivel a Föld nem melegszik túlságosan (az elmúlt sok ezer évben), körülbelül ugyanannyi hőt sugároz ki a Föld, $dQ_{out} \approx dQ_{in}$
- Egy rendszer entrópiájának változása: $dS = dQ / T$, tehát a változás $dS_{Föld} = (dQ_{in} / T_{Nap}) - (dQ_{out} / T_{Föld}) < 0$, azaz az entrópiaváltozás negatív. $T_{Nap} = 6000$ K, mert a Nap felülete hatezer kelvin fokon sugároz, míg a Föld $T_{Föld} = 300$ K csak háromszáz fokon, tehát a levonandó tényező sokkal nagyobb, mint amiből levonjuk.

A fenti összefüggés következményeként tehát nem igaz, hogy a Földön az entrópia egyre csak nő, ezért a Föld fejlődhet. (Csernai, é. n.) A napenergia ugyan nagyon diffúzan éri a földfelszínt, de elvileg mégis lehetővé teheti még a légkörben szétszórt anyagok összegyűjtését is. A fizikusok talán okkal állítják, hogy a Nap óriási mennyiségű energiát sugároz a Föld felé is, és még néhány milliárd évig van remény arra, hogy az entrópia csökkenjen. Mint tudjuk, az asszimiláció során ez történik a természetben. Vagyis talán van értelme az úgynevezett „aszimptotikus kihívásnak”: A gyakorlatban még sokat javíthatunk a teljesítményen, hogy közelebb kerüljünk az elméleti határokhoz, akkor is, ha nem érhetjük el a tökéletes hatékonyságot vagy a teljesen zárt anyagkörforgást. A nemnövekedéssel szemben, a hatékonyságon keresztül történő rövid távú szétválasztás teljesen lehetséges és értékes az ember és a gazdaság számára is. A gyakorlatban a hosszú távú abszolút szétválasztás alapvető korlátokkal szembesül, de ennek idődimenziója milliárd években mérhető. A „könnyen elérhető” hatékonyságnövekedésről a „termodinamikailag korlátozott” hatékonyságnövekedésre való átállás nem feltétlenül nyilvánvaló, amíg meg nem közelítjük a határokat. Ezért is fontos a hatékonyság javítása mellett a „kielégítő” megközelítések vizsgálata, elismerve a hosszú távú termodinamikai valóságot.

A Roagennek tulajdonított „negyedik termodinamikai törvényt” a fizikusok a fenti okfejtés miatt tévedésnek tartják, de a természettudósok elismerik Howard T. Odum-nek a nyitott rendszerek termodinamikájáról vallott nézeteit. (Odum HT. 1973. *Energy-Ecology-and-Economics. Royal-Swedish-Academy-of-Science. Ambio_.pdf*, é. n.) (OST) Odum olyan rendszereket tanulmányozott, amelyek energiát és anyagot is cserélnek környezetükkel, ellentétben a zárt rendszerekkel (amik csak energiát) vagy izolált rendszerekkel (amik sem anyagot, sem energiát), és olyan folyamatos áramlásokra összpontosított, amelyek elengedhetetlenek a valós alkalmazásokhoz, mint például a motorok, az ökoszisztémák és a biológiai folyamatok. Odum olyan fogalmakat használt, mint az

emergia (megtestesült energia) és a maximális teljesítmény elve az energiaáramlás és az önszerveződés megértése érdekében.

Az ökológus Odum szerint nyitott rendszer az olyan rendszer, amely lehetővé teszi az anyag és az energia (hő, munka) határainak átlépését (pl. forró fazék, élő szervezet). Áramlási folyamatok, bemenetek és kimenetek jellemzik, amelyek elengedhetetlenek a folyamatos működéshez. Az energia minősége egy adott termék vagy szolgáltatás előállításához szükséges teljes hasznos energia (napfény, fosszilis tüzelőanyagok stb.) mérőszáma, amelyet a rendszer fenntarthatóságának értékelésére használnak. A szintén ökológiai közgazdászként is tisztelt, de eredetileg fizikus képzetségű Ayres (Ayres, 1999) nem a termodinamikai korlátok híve, mint Georgescu-Roegen – sőt, Georgescu-Roegen néhány fontos következtetésének jelentős kritikusaként ismert. Ayres kifejezetten kritizálta Georgescu-Roegen entrópia törvényének az anyagokra való alkalmazását, azzal érvelve, hogy:

1. Míg az energia valóban visszafordíthatatlan entrópia-növekedésnek van kitéve, az anyagok elméletileg végtelenül újrahasznosíthatók, ha elegendő energia áll rendelkezésre.
2. Georgescu-Roegen által javasolt „termodinamika negyedik törvénye” (az anyagok entrópiájáról) alapvetően hibás.
3. Az anyaghiány technológiai innovációval és helyettesítéssel leküzdhető.

Ayres kidolgozta az „exergia” (rendelkezésre álló energia) elemzés és az ipari metabolizmus fogalmát, amely elismeri a termodinamikai korlátokat, de általában optimistább a technológiai megoldásokkal kapcsolatban.

„Az elmúlt évtizedekben a fejlett gazdaságokban megfigyelhető volt az (elsődleges) energia és a gazdasági növekedés közötti kapcsolat megszűnése, azaz 1970 körül óta a GDP növekedésének egymást követő egységeihez kevesebb energiafelhasználás volt szükséges (más szavakkal, az elsődleges energia és a GDP aránya csökkent). Ugyanakkor egyre több bizonyíték utal arra, hogy ha az elsődleges energia helyett a hasznos exergia mennyiségére koncentrálunk, akkor ez az arány sokkal állandóbb tendenciát mutat, ami arra utal, hogy a GDP minden egyes egysége nagyjából állandó mennyiségű hasznos exergiát igényel. A két megfigyelés közötti különbséget az magyarázza, hogy ebben az időszakban az országok elsődleges és hasznos exergia hatékonysága nőtt. Más kutatások azonban arra utalnak, hogy ez a hatékonyságnövekedés elérheti a telítettségi pontot az „hatékonyság hígítása” miatt, ami negatív hatással lehet a jövőbeli gazdasági növekedés és az energiafelhasználás (és így a környezeti hatások) szétválasztásának megvalósíthatóságára.” („Exergy & Economics”, 2016)

Mint látjuk a vélemények sokfélék, miközben szinte minden állítást statisztikai adatokkal bizonyítottnak tekinthetünk. Talán mégis igaza lehet Hayeknek, aki szerint „mindig csak olyan előrejelzésekre leszünk képesek, amelyek megcáfolhatók, és amelyek ezért csak empirikus jelentőséggel bírnak.” (Hayek, 1989) Érdekes talán, hogy mintha Roegen is ezen a vélemény volna: „A probléma az, hogy hosszú távon, vagy akár nem is olyan hosszú távon a gazdasági (és a biológiai) folyamatot elkerülhetetlenül olyan minőségi változás dominálja, amely előre nem ismerhető. Az életnek új mutációkra kell támaszkodnia, ha folyamatosan és visszafordíthatatlanul változó környezetben akar tovább létezni. Tehát egyetlen egyenletrendszer sem képes leírni az evolúciós folyamat fejlődését. Ha nem így lenne, a biológusok (akik már régóta hasznosítják a termodinamikát) már rég kidolgoztak volna egy hatalmas rendszert, amely a biológiai folyamatok lefolyását ábrázolja a világ végéig. (Georgescu-Roegen, 1971a, 17. oldal)

A körforgásos gazdaság, kétségek és bizonyosságok

Azt, hogy a lineáris gazdaságot át kell alakítani olyan gazdasággá, amely hasonlóan a természethez, nem termel hulladékokat, régóta tudjuk. Kenneth Boulding, Nicolas Georgescu-Roegen, David Pearce (Pearce és mtsai., 2013), vagy a magyar közíró Jócsik Lajos (Jócsik, 1971), jó ötven-hetven évvel ezelőtt, már hosszasan elemezték a lineáris gazdaság felváltásának a szükségességét.

Az utóbbi pár évben végre a főáramú közgondolkodásnak is része lett a lineáris gazdasági model tagadása, az újra felfedezett fogalom a körforgásos gazdaság nevet kapta. A növekvő erőforrás-felhasználás a hármas bolygóválság fő mozgatórugója. Az ökológiai közgazdászok is üdvözlik a körforgásos gazdaság eszméjét, de fontosabbnak tartják a nemnövekedés elméletének érvényesítését. A látszólagos ellentmondások ellenére, talán nem kevés amiben talán az ortodox és a heterodox közgazdászok is egyetértenek:

- Az anyagfelhasználás több mint háromszorosára nőtt az elmúlt 50 évben. Továbbra is évente 2,3 százalékkal nő.
- Az anyagkitermelés és -feldolgozás éghajlati és biológiai sokféleségre gyakorolt hatásai messze meghaladják az éghajlatváltozás 1,5 fokos mértékén belül tartására és a biológiai sokféleség csökkenésének elkerülésére vonatkozó célkitűzéseket.
- A fenntartható fejlődési célok megvalósításához szétválasztásra van szükség, az erőforrás-felhasználás környezeti hatásainak csökkenni, miközben a jóléti hatásainak növekedni kell.
- A magas jövedelmű országok egy főre vetítve hatszor több anyagot használnak fel és tízszer nagyobb éghajlati hatásért felelősek, mint az alacsony jövedelmű országok.

- A történelmi tendenciákhoz ellenére a gazdaság növekedése mellett is lehetséges az erőforrás-felhasználás és az egyenlőtlenségek csökkentése, a jólét javítása és a környezeti hatások drámai csökkentése mellett.
- A bátor szakpolitikai fellépés kritikus fontosságú a nem fenntartható tevékenységek fokozatos megszüntetése, az emberi szükségletek felelősségteljes és innovatív kielégítése és a szükséges átalakulások társadalmi elfogadottságának ösztönzése érdekében.
- Az uralkodó megközelítést, amely szinte kizárólag a kínálati oldali (termelési) intézkedésekre összpontosít, ki kell egészíteni a keresletoldali (fogyasztási) intézkedésekre való erőteljesebb összpontosítással.
- A tudományos közösség egységes abban, hogy sürgősen határozott fellépésre és bátor, tényeken alapuló döntésekre van szükség, amelyek mindannyiunk érdekeit és jólétét védik, beleértve a jövő generációkat is. (UNEP, 2024a)

A felsorolás elég hosszú, ha emmyi mindenben egyetértenek, akkor mivégre az ádáz harc a kétféle iskola képviselői között? Nézzük röviden mi a különbség a kétféle iskola között?

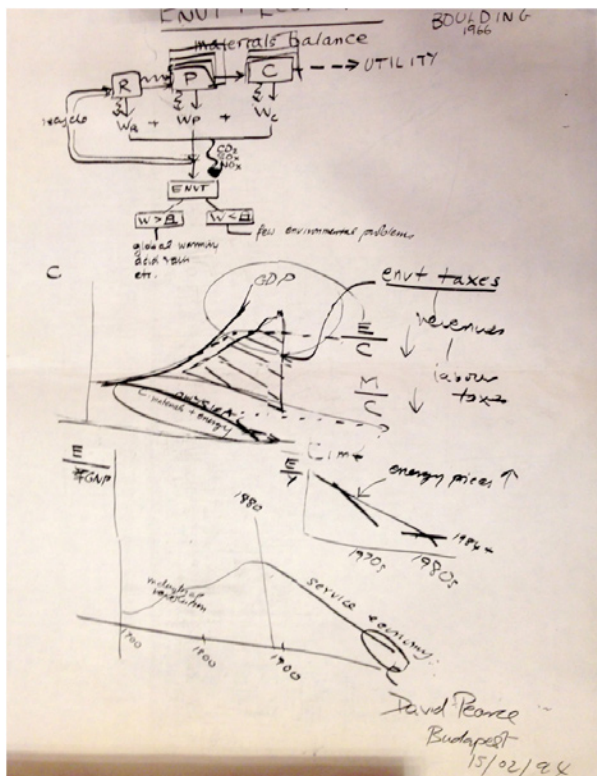
A környezetgazdaságtan összefoglalása három képben

Talán nem véletlen, hogy David Pearce – a szobámban a kezében egy pohár vörös borral – azzal kezdte, hogy felírta Kenneth Boulding nevét, mert Boulding fejtette ki először még 1966-ban, hogy a lineáris gazdaságot fel kell váltani a körforgásos gazdasággal. Nézzük meg részletesebben David Pearce már említett flipchartját, amin összefoglalta a környezetgazdaságtan lényegét (köv. oldal).

Azóta hatvan év telt el és még mindig csak a felismerésben lehetünk biztosak, de nagyon távol vagyunk attól, hogy hátradőlhessünk a székünkben, hogy sikerült beteljesítenünk Boulding az elméletet. (Boulding, 1966)

A második ábra a szétválást példázza. A gazdaság nőhet úgy is, hogy közben a környezetet érő terhelés csökken. Jobb technológiák, környezetkímélő innovációk, ökoadóztatás, társadalmi nyomás a gazdasági szereplőkre, drágább energia és más beavatkozások segíthetik az “ék” betolását a gazdasági növekedés és a környezetterhelés közé. Ez a gondolat is régi, eredetileg Simon Kuznets fogalmazta meg. (Kuznets, 1971)

A harmadik ábra szerint a szolgáltatás gazdaság előretörésével a GNP egységére jutó környezetterhelés csökkenhet. Nyilván mindez nem megy magától. A gazdaságot meg kell reformálni, de ez nem azt jelenti, hogy el kell felejtetni mindazt amit a közgazdaságtudomány néhány évszázad alatt felismert.



David Pearce 1994-es vázlata a környezetgazdaságtan lényegéről

Az ökológiai gazdaságtan újat teremt vagy tagadja a régít?

A környezeti közgazdaságtan kezelhetőbb kereteket, egyértelműbb elemzési eszközöket és megközelítéseket kínál, amelyek a meglévő intézményekben könnyebben megvalósíthatók.

Ha kritikusabb összehasonlítást készítenénk az ökológiai közgazdaságtanról, kiemelve annak potenciális gyengeségeit a környezetgazdaságtanhoz képest, akkor megállapíthatnánk, hogy az ökológiai közgazdaságtan képviselői általában:

1. Merész állításokat tesznek a korlátokról és korlátozásokról, amelyek figyelmen kívül hagyják az emberi alkalmazkodóképességet és innovációt.
2. Állandó állapotot vagy növekedéscsökkentést célzó politikákat javasolnak anélkül, hogy megfelelően foglalkoznának az átállás kihívásaival vagy a nemnövekedésnek a szegénységre gyakorolt hatásaival.

3. Olyan fogalmakra támaszkodnak, mint a „összehasonlíthatatlan értékek” és a „szigorú fenntarthatóság”, amelyek akadályozzák a gyakorlati döntéshozatalt
4. Az elővigyázatosság elvét olyan módon kívánják alkalmazni, amely politikai döntésképtelenséghez vagy elviselhetetlen mértékű költségekhez vezethetnek.
5. A gyakorlati tapasztalatokból már ismert hatékonysági hiányszempontokkal rendelkező parancs- és ellenőrzési típusú környezetpolitikai eszközök alkalmazását támogatják.
6. Indokolatlan technológiai pesszimizmust tanúsítanak, amelyek ellentétben állnak a technikatörténeti tapasztalatokkal és történelmi mintákkal.
7. Gyakran normatív állításokkal helyettesítik a pozitív elemzéseket, ami zavart okoz a politikai vitákban
8. Olyan transzdiszciplináris megközelítéseket alkalmaznak, amelyek gyakorlati módszertanilag nem megalapozottak. Ilyen többek között Georgescu Roagen sokat emlegetett entrópia tétele.

Ennyi kritikai megjegyzés után talán nem árt, ha összefoglaljuk a két iskola nézeteit, rámutatva a fontosabb dimenziókban jellemző különbségekre fókuszálva.

A környezetgazdaságtan és az ökológiai közgazdaságtan összehasonlítása

Értékelési tényezők	Környezetgazdaságtan	Ökológiai gazdaságtan
Alapvető világnézet	A környezetvédelmi szempontokat a meglévő közgazdasági elméletbe integrálva kezelhetőbb keretrendszert kínál. Elsősorban neoklasszikus közgazdasági szemléletet alkalmaz	A gazdaságot a véges bioszféra alrendszerének tekinti, ami túlságosan leegyszerűsítheti a komplex társadalmi-gazdasági valóságot
	A piacokon keresztül történő erőforrás-elosztás optimalizálására összpontosít	Gyakran támaszkodik metaforákra és analógiákra, amelyek nem elég precízek
	Jobban figyelembe veszi az emberi rendszerek és intézmények dinamikus folyamatait	Túlhangsúlyozhatja az ökológiai korlátokat, miközben alábecsüli az emberi alkalmazkodóképességet és innovációt

Növekedés és méret	Általában feltételezi, hogy a folyamatos gazdasági növekedés kívánatos és lehetséges	Kérdésesnek tartja a végtelen gazdasági növekedés kívánatos voltát és megvalósíthatóságát
	Úgy véli, hogy a környezeti problémák megoldhatók a növekedés fenntartása mellett	Az ökoszisztéma kapacitásához viszonyított optimális gazdasági méret mellett érvel
	Az abszolút méret helyett a gazdasági hatékonyságra összpontosít	Gyakran támogatja a steady-state vagy a degrowth megközelítéseket
Érték és helyettesíthetőség	Elsősorban a monetizált értékekre összpontosít	Kiemeli a többféle, összehasonlíthatatlan értéket (ökológiai, társadalmi, kulturális)
	Feltételezi a különböző tőkeformák közötti magas helyettesíthetőséget	Szkeptikus a természeti és a gyártott tőke helyettesíthetőségét illetően
	Támogatja a „gyenge fenntarthatóságot” (a teljes tőkeállomány számít, nem annak összetétele)	Támogatja a „erőteljes fenntarthatóság” koncepcióját (a kritikus természeti tőkét meg kell őrizni)
A bizonytalanság kezelése	Inkább a kockázatértékelésre és a költség-haszon elemzésre támaszkodik	Hangsúlyozza az elővigyázatosság elvét
	Hajlamos a bizonytalanságot számszerűsíthető kockázatként kezelni	Elismeri az alapvető bizonytalanságot és a rendszer komplexitását
	Általában diszkontrátákkal kezeli a bizonytalanságot	Inkább a biztonságos minimumszabványok mellett áll ki

Politikai eszközök	A piaci alapú eszközöket (adók, kereskedelmi engedélyek) részesíti előnyben	A közvetlen szabályozás és az erőforrás-felhasználás abszolút korlátozásának támogatója
	A piaci kudarcok kijavítására és a külső hatások internalizálására összpontosít	Támogatja a szélesebb körű politikai intézkedések kombinációját, beleértve a kulturális és intézményi változásokat
	Hatékonyságorientált megoldásokat részesít előnyben	Gyakran támogatja a közös javak kezelésére irányuló megközelítéseket
Technológiai optimizmus	Általában optimista a technológiai megoldásokkal kapcsolatban	Szkeptikusabb a fenntarthatóság technológiai megoldásait illetően
	Hangsúlyozza a hatékonyság javítását és a szétválasztást	Kiemeli a termodinamikai korlátokat és a visszahatásokat
	Úgy véli, hogy az innováció leküzdheti az erőforrás-korlátokat	A hatékonyság mellett a kielégítő mennyiséget is hangsúlyozza
Méltányosság és elosztás	Az elosztást a hatékonyságtól elkülönülő kérdésként kezeli	Az elosztást központi kérdésként kezeli
	Általában a teljes jólétre összpontosít, nem pedig az elosztási hatásokra	Gyakran kifejezetten beépíti a társadalmi igazságosság dimenzióit
	A jövő generációkat elsősorban diszkontrátákkal foglalkozik	Az intergenerációs méltányosságot alapvető fontosságúnak tartja
Módszertani megközelítés	Elsősorban matematikai modellezésre és monetáris értékelésre támaszkodik	Különböző módszereket alkalmaz, beleértve a biofizikai számvitelt
	Erősebb tudományági határokat tart fenn	Hangsúlyozza a transzdiszciplináris és partícipatív megközelítéseket
	Kiemeli a kvantitatív módszereket és a formális modellezést	Hajlamosabb a kvalitatív elemzés beépítésére

Aki átrágtá magát a fenti táblázaton, talán azt gondolhatná, hogy a napjaink egyik nagyon kedvezőnek tekintett projektje, a WWF úgynevezett „Nature positive” kezdeményezése nyilván az ökológiai közgazdaságtan egyik legfontosabb gyakorlati javaslata. A program szerint meg kell állítanunk és vissza kell fordítanunk a 2020-as kiindulópontához képest mért természetvesztést a fajok, populációk és ökoszisztémák egészségének, bőségének, sokféleségének és ellenálló képességének növelése révén, hogy 2030-ra a természet láthatóan és mérhetően a helyreállítás útjára lépjen (*Nature Positive - A Global Goal for Nature*, 2026).

2050-re a természetnek helyre kell állnia, hogy a virágzó ökoszisztémák és a természetalapú megoldások továbbra is támogassák a jövő generációit, az élet sokszínűségét, és kritikus szerepet játsszanak az elszabadult éghajlatváltozás megállításában. A program azonban 2030-ig 395 millió új álláshelyet és összességben évente 10,1 trillió dolláros üzleti lehetőségről beszél, a világ egyik legfontosabb természetvédő szervezete nem a zéró növekedésre törekszi, hanem üzleti vállalkozásként népszerűsíti a kezdeményezését. Ez realitásos elképzelés, mint amit az ökológiai közgazdaságtan a morális magaslatból ígérni képes (*Nature Positive - A Global Goal for Nature*, 2026).

Záró gondolatok: „Egyetlen egyén sem szándékozik a köz javát elősegíteni”

Számos szennyező anyag esetében dokumentálták a környezeti Kuznets-görbe érvényességét. A piaci alapú eszközök sikeresen kezelték a savas esőtől a túlhalászásig terjedő problémákat. Az ökológiai közgazdaságtan fontos kérdéseket vetett fel a gazdasági és természeti rendszerek közötti kapcsolatról, a szakterület fejlődését a módszertani következtetlenség és az apokaliptikus előrejelzésekre való hajlam akadályozza. A főáramú közgazdaságtan sem állítja, hogy a természeti tőke és az ember alkotta tőke egymással korlátlanul helyettesíthető, a gyenge fenntarthatósági kritérium csak azt állítja, hogy a természeti tőke éppen vizsgált utolsó egységének az átalakítása (miután a természeti tőke nagysága az átalakítás által csak alig, marginálisan változik) még megengedhető, ha az ember alkotta tőke haszna elegendően nagy ahhoz, hogy általa a természeti tőkében elszenvedett csökkenés kompenzálható. Míg a környezetgazdaságtan gyakorlati eszközöket kínál a meglévő intézményeken belüli azonnali politikai végrehajtáshoz, addig az ökológiai közgazdaságtan kritikát fogalmaz meg, de nemigen ad eszközöket a környezetpolitikai döntésekhez. A kétféle megközelítés közötti folyamatos párbeszéd továbbra is kulcsfontosságú a sürgető környezeti problémákra adandó hatékony válaszok kidolgozásához. Rittel és Webber 1973-ban megjelent cikkükben már világosan leírták, de sem a zöld mozgalom, sem a politikusok nem fordítottak rá figyelmet:

„A társadalmi problémákkal való szembenézés tudományos alapjainak keresése, e problémák természete miatt, kudarcra van ítélve. Ezek ‘gonosz’ (vad)

(Kerekes, 2018) problémák, míg a tudomány a 'szelíd' problémák kezelésére fejlődött ki. Egy pluralista társadalomban nincs olyan, mint a vitathatatlan közjó; nincs objektív meghatározása a méltányosságnak; a társadalmi problémákra reagáló politikák nem lehetnek értelmesen helyesek vagy hamisak; és nincs értelme a társadalmi problémák 'optimális' megoldásáról beszélni, hacsak nem szabunk meg előbb súlyos korlátokat. Még rosszabb, hogy nincsenek 'megoldások' a végleges és objektív válaszok értelmében." (Rittel & Webber, 1973)

Az alábbi szöveg a fenténél is régebbi. Felesleges a sziszifuszi küzdelem, nem kell feltalálni a melegvizet, olvasni kell a bölcs elődök gondolatait. Vegyük észre: Hayek, Rittel és Adam Smith ugyanazt mondják:

„Egyetlen egyén sem szándékozik a köz javát elősegíteni, és azzal sincs tisztában, hogy ténylegesen mennyire segíti azt elő. A hazai iparnak a külhonival szembeni támogatását preferálva, csak a saját biztonságára törekszik; és ily módon irányítva azt az ipart annak terméke a legértékesebbé válhat, csak a saját előnyére törekszik, és csak abban érdekelt, és miként sok más esetben, egy láthatatlan kéz vezeti őt egy olyan cél elősegítésében, amely nem volt része szándékának.” (Georgescu-Roegen, 1971b)

Irodalom

Ayres, R. U. (1999). The second law, the fourth law, recycling and limits to growth. *Ecological Economics*, 29(3), 473–483. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)00098-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00098-6)

Boulding, K. E. (1966). The economics of the coming spaceship earth. New York, 1–17.

Csernai, L. P. (é. n.). Sustainability and Competitiveness of Energy Supply in Europe.

Dasgupta, P. (2021). The economics of biodiversity: The Dasgupta review. Hm Treasury.

Decoupling debunked: Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability | Exploring Economics. (é. n.). Elérés 2026. január 13., forrás <https://www.exploring-economics.org/en/discover/decoupling-debunked-evidence-and-arguments-again/>

Energy Reorganization Act of 1973: hearings before a Subcommittee of the Committee on Government Operations, House of Representatives, Ninety-third Congress, first session, on H.R. 11510, to reorganize and consolidate certain functions of the Federal government in a new energy research and development administration and in a nuclear energy commission in order to promote more efficient management of such functions, November 27, 28, and 29, 1973.: Hearing Committee on Government Operations, House 93 (1973). <https://www.govinfo.gov/app/details/CHRG-93hhr9251080>

Exergy & Economics. (2016, január 17). Exergy Economics. <https://exergyeconomics.wordpress.com/exergy-economics-101/exergy-economics/>

Georgescu-Roegen, N. (1971a). The entropy law and the economic process. Harvard University Press.

Georgescu-Roegen, N. (1971b). The entropy law and the economic process. Harvard University Press.

Hayek, F. von. (1989). The pretence of knowledge (Nobel Lecture). *American Economic Review*, 79(6), 3–7.

Jevons, W. S., College, M. a F. of U., College, L. C. P. of P. E. in O., & MANCHESTER. (é. n.). The Coal Question | Online Library of Liberty. Elérés 2026. január 13., forrás <https://oll.libertyfund.org/titles/jevons-the-coal-question>

Jócsik, L. (1971). Az öngyilkos civilizáció (Samoubilačka civilizacija) KJK. Budapest.

Kacsuk, Z. (2002). Nicholas Georgescu-Roegen: Az entrópia törvénye és a gazdasági probléma. Kovász, 6(1–4), 19–31.

Kenneth E. Boulding, Toward a General Theory of Growth (1953). (é. n.). Elérés 2026. január 21., forrás <https://www.panarchy.org/boulding/growth.html>

Kerekes, S. (2018). Kergetjük a lehetetlent. A fenntartható fejlődés vad probléma, de szelídíteni lehet és érdemes! XXVII.

Kerekes, S. (2023). Zsörtölődő megjegyzések a Dasgupta-jelentésről Friedrich Hayek elméletének tükrében. Közgazdasági Szemle, 70(3), 305–321. <https://doi.org/10.18414/KSZ.2023.3.305>

Kuznets, S. (1971). Simon Kuznets-Prize Lecture. Retrieved from Nobelprize. org: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes....

Latouche, S. (2009). Farewell to Growth. Polity.

Meadows, D. H., Meadows, D. H., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). The limits to growth: A report to the club of Rome (1972). Google Scholar, 91.

Nature Positive—A Global Goal for Nature. (2026). <https://www.naturepositive.org/>

OdumHT.1973.Energy-Ecology-and-Economics.Royal-Swedish-Academy-of-Science. Ambio_.pdf. (é. n.). Elérés 2026. január 17., forrás https://www.emergysociety.com/wp-content/uploads/OdumHT.1973.Energy-Ecology-and-Economics.Royal-Swedish-Academy-of-Science.Ambio_.pdf

Pearce, D., Markandya, A., & Barbier, E. (2013). Blueprint 1: For a green economy. Routledge.

Pocza, P., Bell, N., & Hyvönen, J. (2014). Imre Festetics and the Sheep Breeders' Society of Moravia: Mendel's Forgotten "Research Network". PLOS Biology, 12(1), e1001772. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001772>

Rittel, H. W., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. Policy sciences, 4(2), 155–169.

Smith, A. (é. n.). AN INQUIRY INTO THE NATURE AND CAUSES OF THE WEALTH OF NATIONS.

UNEP (Szerk.). (2024). Bend the trend: Pathways to a liveable planet as resource use spikes. International Resource Panel.

Zoltán K. (é. n.). Nicholas Georgescu-Roegen: Az entrópia törvénye és a gazdasági probléma.

Zeller Gyula (2009) Létezik-e a Smith probléma, avagy mennyire egységesek Adam Smith nézetei? Közgazdasági- és Regionális Tudományok Intézete Pécsi Tudományegyetem, Közgazdaságtudományi Kar Műhelytanulmányok

Parrique T., Barth J., Briens F., C. Kerschner, Kraus.-Polk A., Kuokkanen A., Spangenberg J.H., 2019. Decoupling debunked: Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability. European Environmental Bureau

Tisztán vagy keverten a búzát? Archaeobotanikai párhuzamok.

Gyulai Ferenc

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet Gödöllő

gyulai.ferenc@uni-mate.hu

*Egyetlen mag, egy búzaszem, egy ősi,
Mit kilenc ezredév után találtak,
üzenet, hogy a halált is legyőzi,
jelképe az örök megújulásnak,
az életnek, a hódító erőnek...*

Takács Tibor verse

Bizonyosságok a tiszta vetőmag termesztésére

A mezőgazdasági képzés során megszerzett ismeretek bizonyosságot jelentenek minden gabonatermesztő számára, hogy a búzát fémzárolt vetőmagból, csak fajtatisztán, a technológia betartásával szabad termesztani (Barabás 1987). Különben romlik a termés mennyisége és minősége, értékesíthetősége. Jogszabályi előírás szerint a búza továbbszaporítására és árutermelésre forgalomba kerülő vetőmagot minősíteni és fémzárolni szükséges. Különben illegális vetőmag-forgalmazás történik. A nem fémzárolt vetőmag használata kockázatos.

A világ vetésterületének közel 90 %-án a közönséges búzát (*Triticum aestivum* subsp. *vulgare*) termesztik. Az USA agrárminisztériuma (USDA) szerint 784 millió tonna lehetett a világ búzatermése a 2022/2023. gazdasági évben, ami 7 millió tonnával maradhat el a felhasználástól. Magyarországon 2023 (KSH): 1 053 575 hektár vetésterületen 5 933 625 tonna, 5 630 Kg/ha termésátlaggal.

A „tisza vetőmag” előállításának módja mind a búzánál, mind az egyéb gabonaféléknél a kettős termesztés, mely lehet:

- keverékvetés: olyan, melynek során gabonafélék (őszi zab, tritikálé) pillangósokkal (borsó, szöszös bükköny stb.) való együttes termesztését értjük alatta (pl. zabosbükköny). De ismert pl. lóhere vetése árpa alá.
- kettős vetés: a fő termést adó szántóföldi növény betakarítása után kerül elvetésre a második növény, de az is kifejlődik, és termést hoz a vegetációs időszak végéig.

A kettős vetés lehet másodvetés (korán elkerülő elővetemény után), ha azok május 10-ig elvetésre kerülnek (pl. napraforgó, szója, köles, szemes kukorica, takarmányrepece, facélia, cirokfélék). Illetve tarlóvetés, ha azok július 10. után kerülnek elvetésre (pl. fehérmustár, olajretek). A másodvetések főként zöldtrágyaként hasznosulnak.

A termesztési rendszerek lehetnek:

- monokultúra: a gabonát vetésváltás, elővetemény nélkül évekig egy helyben termesztik. Ez a termesztés a talajra, talajszerkezetre, talajéletre degradáló hatású, és a termésátlagos romlanak.
- dikultúra: pl. 2 év őszi búza + 2 év kukorica
- trikultúra: lucerna-kukorica-búza (3 év lucerna + 3 év kukorica+2 év őszi búza)
- norfolkitípusú forgó: 4 év kukorica, tavaszi árpa, borsó, őszi búza (25%)
- egyéb, mint a polikultúra: a különböző növények együttéléséből adódó ökológiai előnyökkel. A sokféleség adja a polikultúrák fő ereje. egyszerűen több fajt is termesztene egy időben és egy helyen.
- vegyes kultúrák termesztés: elsősorban a zöldségtermesztésben elterjedt, de az ökológiai gazdaságban a szántóföldi vegyeskultúra: rozs, zab, bükköny, olajretek, takarmányborsó is ismert. Ahol a szomszédos növények – helyes megválasztásuk esetében – egymást segítik a növekedésben, és bizonyos mértékben védik a betegségekkel, kártevőkkel szemben.

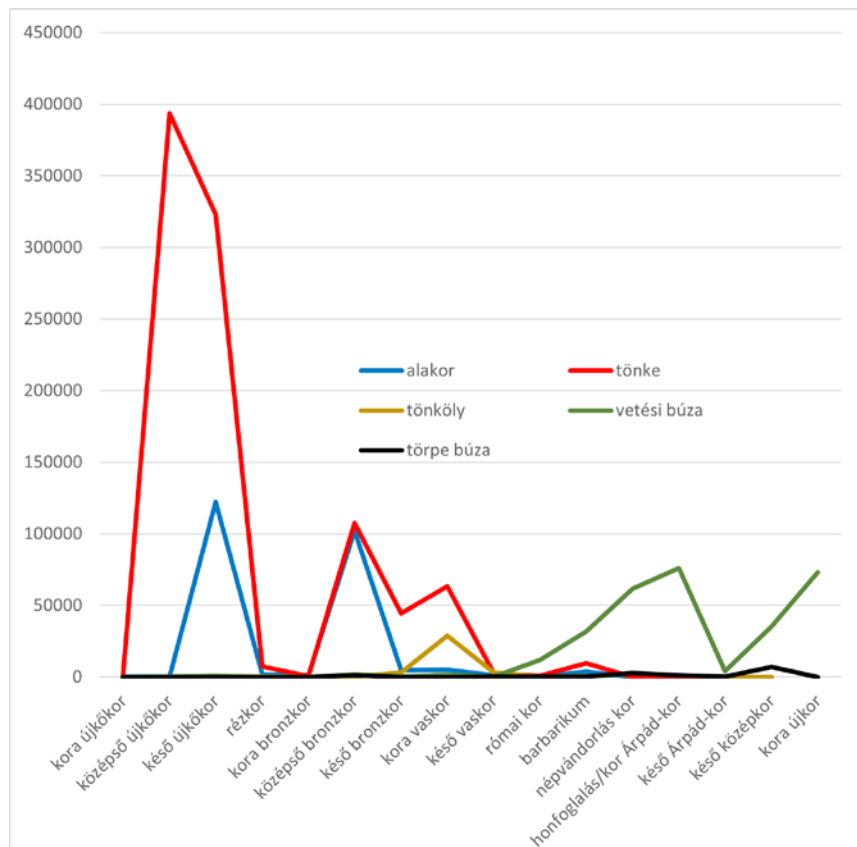
A régészeti-növénytan eredményei bizonytalanná tesznek, avagy új bizonyosságok

Számos növényfaj termesztése csak bizonyos régészeti korszakhoz vagy kultúrához köthető. Amennyiben megvizsgáljuk a Kárpát-medence elmúlt nyolc évezredének történetét, úgy ki kell mondanunk, hogy a termesztett kultúrnövények (fajok/fajták) és egyes emberi populációk között nincs szignifikáns korreláció. Az itt élt népek beköltözésükkor saját addig termesztett növényeiket hozták magukkal és termesztették tovább. Ez annak ellenére így van, hogy a legtöbb gabonafaj termesztése az őskor óta folyamatos. De már az egyes korszakokban található gabonafajok (pl. árpa, búzák, köles, rozs) alak és forma tekintetében eltérnek más korszakokétól, és csak arra a korszakra vagy kultúrára jellemzőek. Szó nincs a gabonafélék „egymástól” való átvételéről.

A növénytermesztés a természetes vegetáció rovására erősödött fel. Az egyes régészeti kultúrák elmúlásával együtt számos, addig nagymértékben termesztett növényfaj tűnt el szinte nyomtalanul, vagy vált gyomfajjává. Ezért a jelen korunkat megelőző időkben mindenképpen a termesztett növények kultúrafüggőségéről kell beszélnünk, aminek a háttérben klimatikus okok húzódnak, csakúgy mintha a kultúra megváltozásában.

A termesztett növények és a természetes vegetáció kapcsolatát a Kárpát-medencében élt népek életmódja mellett a klimatikus viszonyok határozták

meg (Gyulai 2000). A Kárpát-medence sajátos klimatikus és ökológiai viszonyai, a kultúrnövényeknek a termesztésben eltöltött hosszú ideje és az ezzel együtt járó népi szelekció következtében igen magas fokú diverzitása jött létre.



1. kép. A fontosabb búzafajok szemterméseleleteinek darabszám szerinti megoszlása a hazai régészeti korszakokban (a szerző összeállítása).

A magleletek alapján a legritkébb esetben tudjuk megmondani, hogy az egyes gabonaféléket együttesen vagy külön termesztették. A régészeti feltárások során ezeket általában egymással összekeverten találjuk meg a különböző vermekben, rétegekben. Azonban nagyon is valószínű, hogy egykoron elterjedt lehetett a különböző búzafajok és talán a különböző gabonafajok együttes vetése.



2. kép. Alakor szemek Bölcske-Vörösgyír tell településről (Kádas Tibor felvétele).

Hazánk területén nyolcezer évre tekint vissza a gabonatermesztés. A tárolóvermekben talált magleletek vizsgálatai szerint egyszerre és egy helyütt (kevert vetés formájában) elsősorban pelyvás búzákat (alakor, tönke, némi tönköly) termesztettek, de közöttük szórványként a vetési búza és a törpe búza is előfordult.

Archaeobotanikai bizonyítékok nemzetségkeverék (búza-rozs) együttes termesztésére

A honfoglalás után a régészeti lelőhelyeken (pl. Lébény-Billedomb), majd a kora Árpád-kori lelőhelyeken (pl. Endrőd, Rákospalota-Újmajor) talált búza és rozs-szemek aránya nagyon hasonló, ami felveti együttes termesztésüket (Gyulai 2001). Ezért nagyon is valószínű, hogy a búza és rozs együttes termesztésének korábbi (sztyeppe?) gyökerei vannak. Edelény-Borsodi 10. századi földvár ételmaradványainak vizsgálatai is ezt erősítik (Gyulai 2014). Bizonyos, hogy az itt talált változatos kásafélék alapanyagát jelentő rozs és búza őrleményét nem valamiféle recept szerint állították össze, hanem a gabonakészlet volt inhomogén.



3. kép. Közönséges búza és rozs elegyes őrleményéből készült húsos kása maradványa az Edelény-Borsodi földvár 10. századi ispánsági várából (a szerző felvétele).

A gabonafajok szemterméseinek számából 10. századi jelentőségi sorrendjük is felállítható: első helyen áll a majd kétszázezer hántolt szemével a köles, második helyen a búza, a hexaploid közönséges vagy vetési búza, az ugyancsak hexaploid törpe búzával egyetemben, harmadik helyen a rozs, negyediken helyen az olasz muhar, ötödik helyen az abrakzab, a sort az árpa zárja, közte főként a pelyvás többsoros és kétsoros csupaszárpával. Az itt felsorolt gabonafélék őszi és tavaszi vetésűek lehettek. Őszi vetésűek voltak a rozs és a búza, a köles, abrakzab, olasz muhar tavaszi. Ezek a kategóriák azonban nem kizárólagosak, mert a múltban tavaszi búzákat, őszi és tavaszi vetésű árpát is rendszeresen termesztettek, sőt a köles másodvetése is gyakorlat volt.

Ezekből arra következtetünk, hogy a letelepedés és a növénytermesztésre való áttérés úgy tűnik a Dunántúlon és az északi országrészben gyorsabban ment végbe. A nyugati- és északi országrészből előkerült 11. századi növényteni leletanyagot a hosszabb tenyészidejű, értékesebb gabonafélék termesztése jellemzi (Hartyányi et al. 1967/68). Ezek a cereáliák magasabb szintű agrotechnikát és folyamatos gondozást igényelnek. Az előkerült gabonafélék faji összetételükben megegyeznek a nyugati országok hasonló korú leleteivel. Nem véletlenül ezek a leletek kora Árpád-kori ispánsági várak, ispánsági székhelyek, kolostorok területéről kerülnek elő, a megszilárduló és Európa szerte egységes feudális rend és termelési mód központjaiból.

A nyugati országrész növénytermesztését ekkortájt már a hosszabb tenyészidejű gabonák termesztése jellemzi. De a termesztett búza pedig egyáltalán nem volt homogén. A búzák közül elsősorban a közönséges búzát és az ugyancsak csupasz törpe búzát termesztették, belekeveredve alakor, tönke és tönköly szemekkel. A lelőhelyeken talált rozsszemek magas számából és a búzához közeledő arányukból következően nagyon is elképzelhető, hogy egy részüket vagy egészüket a búzával elegyesen termesztették.

A 10., olykor a 11. századra is átnyúló ispánsági várak (Edelény-Borsodi földvár, Sopron, Városháza u., Hont-Ispánsági vár, Abaújtúr-Vár) fajban és maradványszámban gazdag gabonaleletei egyértelműsítik a korszak gabonatermesztését. Itt már nem egy kisebb közösség gabonatermesztésének produktumát látjuk, hanem egy-egy nagyobb termesztési terület készletezett terményeivel van dolgunk. Ha az innen származó gabonaleleteket összevontan értékeljük, úgy a hexaploid közönséges, vagy vetési búza nyolcvanezer maradványa és a rozs ötvenezer maradványa jelentős készletekről árulkodik. A búza és rozs hasonló nagyságrendje már e korai időben azok együttes termesztését feltételezi.



4. kép. Rozssal összeégett közönséges búzaszemek Abaújtör-Vár 10-12. századi gabonásverméből (a szerző felvétele).

A 16. században elpusztult pogányszentpéteri kolostor gabonásvermében is ott volt a „kétszeres”. A leégett gabonásverem mintájában 741 db közönséges búza (25 g), 901 db rozs (25 g), 3 db árpa, 14 db köles, 1 db olaszmuhar, gyomok és a felső rétegben 11 db körtemúmia és 20 db kerti szilva múmia voltak (Füzes 1972).

Archaeobotanikai bizonyítékok búza fajkeverék együttes termesztésére

A hazai régészeti-növénytani leletanyag alapján a legritkább esetben tudjuk megmondani, hogy az egyes gabonaféléket együttesen vagy külön termesztették. Ugyanis ezeket általában egymással összekeverten találjuk meg. Azonban nagyon is valószínű, hogy a múltban elterjedt lehetett a különböző búzafajok és talán a különböző gabonafajok együttes vetése. Az elegyes vetés elősegítette, hogy bennük bizonyos gyomnövények felszaporodjanak, ezáltal biztosítva lehetőséget szelekciójukra, szekundér kultúrnövények létrejöttét.

A római kort megelőző időkben a búzák közül meghatározó jelentőségűek voltak a pelyvás búzák: az alakor és a tönke. Különösképpen a hazai őskorban. Nováki (1969) érdekes megállapításra jutott, amikor a középső bronzkori búzaleleteket térképre vitte. Azok két nagy területet rajzolnak ki. Az első terület a Dunántúl keleti, északkeleti csücskét és a Duna-Tisza közének északi részét foglalja magába. Ezen a területen többnyire az alakor az uralkodó búzafaj, a tönke és a vetési-, vagy közönséges búza csak másodlagos szerephez jutott. Hogy mi ennek a magyarázata, még nem tudjuk. Megállapításának érvényességét mi is

alátámaszthatjuk, hiszen Bölcske-Vörösgyír esetében is a gabonamaradványainak közel háromnegyed részét az alakor teszi ki (Berzsényi & Gyulai 1998). Kivételt csak Százhalombatta-Földvár jelent, itt kétszer annyi tönkeszemek találunk, mint alakort. A második terület a Tisza jobb parti részeit és a Duna-Tisza közének keleti vidékét foglalja magába. Itt inkább a tönke az uralkodó búzafaj. Ezt követi a közönséges búza, míg az alakor általában háttérben marad. Azon a vidéken, ahol a két nagy terület átfedi egymást (Tószeg, Mende, Tiszaalpár) az alakor és a tönke egyenlő arányban található.

Mindezek azt mutatják, hogy bár létezett területi megoszlás a termesztett búzafajokat illetően, de ez mégsem jelentett kulturális különbözőséget, mint ahogy a hazánk területén élt bronzkori kultúrák sem különültek el élesen egymástól. Mindez inkább a bronzkorban itt élt növénytermesztőket dicséri: meglepően jól ismerték környezetük mikroklimatikus és edafikus adottságait, de azt is tudták, hogy hol és melyik növényt termeszthetik nagyobb sikerrel.

A fent említett kora Árpád-kori ispánsági várak többnyire vetési búza és törpebúza szemei között, éppen csak jelzésértékkel, de előfordulnak pelyvások is: alakor, tönke, tönköly. A sokféle búzafaj együttes előfordulása valamiféle ősi keverék vetőmagra utal. Az Endrődön feltárt kora Árpád-kori házak és gödrök régészeti növénytani leletanyagában megint csak találkozunk a tönke kései előfordulásával. Rendkívül meglepő, hogy a késő Árpád-kori Rákospalota-Újmajor lelőhelyen is ott vannak a tönke szemtermései, sőt annak pelyvátlanításából származó villa maradványok is (Gyulai 1999). Az archaeobotanikai leletek tanúbizonysága szerint a népvándorláskor elmúltával végleg felhagytak a pelyvás búzák (alakor, tönke) termesztésével. Ezek a pelyvás búzák a honfoglalás után még egy rövid ideig megmaradtak, mint az Alföld korábbi (őskori és népvándorlás kori) kultúráinak jellegzetes képviselői, de nem mint termesztett gabonafélék, csak mint a vetőmagvak szórvány kísérői.

Archaeobotanikai bizonyítékok búza fajtakeverék együttes termesztésére

Egyes hazai archaeobotanikai leletek arra utalnak, hogy már a nagyon korai időkben bizonyos, egymástól is jól elkülöníthető gabona alakkörök/típusok (fajták?) jöttek létre.

Nagyobb populáción elvégzett alak és forma méréseink szerint már a korai időkben (késő neolitikum, középső bronzkor, Árpád-kor) léteztek gabonafajták. Ritkán ugyan, de olykor egyazon régészeti korszakon belül, máskor egyazon kultúrához vagy kultúrirányzathoz tartozó lelőhelyek gabonaleletei között faji szinten túl is létezik hasonlóság, ami közös származási helyre utal. Ezek a gabonák helyi tájfajták, vagyis bizonyos körülményekhez idomult, néhol esetleg tömegkiválasztással „fejlesztett” típusok lehettek.



5. kép. Hosszúkás típusú tönke szemek Berettyó-újfalú-Szilhalom lelőhelyről, Kr. e. 5. évezred első fele (P. Hartyányi B.-Sz. Máthé M. 1980 nyomán).



6. kép. Telt-kerek típusú tönke szemek Berettyóújfalú-Szilhalom lelőhelyről, Kr. e. 5. évezred első fele (P. Hartyányi B.-Sz. Máthé M. 1980 nyomán).



7. kép. Közönséges búza hosszúkás szemei Abaújtúr-Vár 10-12. századi gabonásverméből (a szerző felvétele).



8. kép. Községeses búza kerek szemei Abaújhár-Vár 10-12. századi gabonásverméből
(a szerző felvétele).

Az ispánsági várakban és egyéb Árpád-kori lelőhelyeken talált községeses vagy vetési búza vetési búzaszemek alakja és formája szerint azok többnyire „hosszúkás és keskeny”, valamint „rövid, zömök” szemekre különíthetők el. Az eltérő, hosszúkás és kerek szemei varietaszokat, ökotípusokat, esetleg korai fajtákat takarhatnak. Amennyiben megvizsgáljuk a régi magyar búzákat, úgy a hosszúkás szemek inkább a nyugati eredetű varietaszokat (pl. var. *lutescens*), míg az *erythrosporum* varietaszba tartozó apró kerek, pirosas és egyben acélos szemek az őshonosnak tekintett magyar búzakészlet, a *proles hungarica* jellemzője volt (tiszavidéki, bánáti búzáék).

Nemzetség szintű keverékgabona termesztésének történelmi tényei

A búza és a rozs együttes termesztése jellemző volt a hazai középkorra és újkorra. Már az Árpád-korban elterjedt volt a búza és a rozs együttes termesztése. Az *abajdóc* (abenác, abajdos) elegyest jelent. „Kétszeresnek”, „*tritium mixtum*-nak”, „*cerealiam promiscum*”-nak is nevezték. I. László király arról rendelkezett, hogy a tizedet ne elegyes gabonában, hanem külön vegyék: „*In annona vero commixtum non accipiat, sed separatim*” (Szent László Király Dekrétomainak Első Könyve 40. Fejezet azokról, a kik a tizedet eltagadják.)

Az éghajlati adottságok miatt az országon belül a búzatermesztésben bizonyos különbségek alakultak ki. A 18. században Felső-Magyarországon a búzát rozssal elegyesen (abajdóc) vetették, de nem termesztették az alakort. Ezzel szemben Erdélyben nem termesztették az abajdócot, csak a közönséges búzát és rozst. Olykor a rozs vagy árpa helyébe is a közkedvelt alakor lépett (Makkai 1957).

A 18. század végén az országból kikerülő gabona legalább egyharmadát abajdóc vagy abenás, más néven kétszeres (*Triticum mixtum*) tette ki (Gerendás 1934). Egyébként is a kétszeres volt a fő kenyérgabona. Sok helyütt nem is termeltek mást. A katonai élelmezési raktárak 1780-90 táján is inkább ezt vettek át, mint sem a tiszta búzát (Eckhart 1958). Figyelemre méltó Angyalffy (1829) azon megállapítása, miszerint „A' termése ezen elegyes gabonának igen nagy szokott lenni és mindig nagyobb, mint akár a' búzáé, akár a' rozsé, ha ezeket magukban termesztik”. Termesztése később lassan visszaszorult, de még a 19. század elején is jelentős maradt. A kétszeres elterjedtsége ellenére termesztését Pethe Ferenc (1805) erősen megszólja: „... az eggyügyübb szántóvető azt gondollja, hogy ...ha külön külön vetnék ugyanazon szemeket, talán meg se teremne”.

Vetését azzal indokolták, hogy ha az egyik gabona nem sikerült, akkor a másik még jó termést hozhat. Ezzel kapcsolatban már a 18. században elterjedt az a hiedelem, „... hogy a tisztabúza némely helyeken Rozzsá változik”. Ennek okát már 1796-ban így magyarázták: „... mivel a Rozs ha száraz időben vettetik is el, és ha eső hamarjában nem éri – és mindazonáltal mégis ki-kél, de a tiszta búza nem” (Szabó J. 1793).

A különböző uradalmak korabeli összeírásából tudjuk, hogy a 18. században a legnagyobb területet búzával és kétszeressel vetették be. Ezt a rozs, illetve az árpa és a zab követte. A sort a köles zárta (Gaál 1978). Általánosságban elmondható, hogy a gabona hozama a 16. században az elvetett 2-4 szerese, a 17. században pedig 2-6 szorosa volt. A 19. század eleji terméseredmények már 3-8 szorosak (Gaál 1978).

A 18. század második felében a háborúk (1740-58. osztrák örökösödési háború, 1756-63. hétéves háború) miatti gabonakonjunktúra idején, a majorsági központok a búza termelésére álltak rá, míg a paraszti gazdaságokban a rozs és a kétszeres maradt a fő termény. A gabona ára 1785-1805 között négy-ötszörösére nőtt, és a gabonakivitel megháromszorozódott. További gazdasági fellendülést hoztak a napóleoni háborúk (1792-1815). A búza ára hamar megtízszereződött. A háborús gabonakeresletnek a mezőgazdaságban az majorsági allodiális gazdálkodás keretei között meginduló tőkefelhalmozódásnak ezek jelentették az alapot. A jövedelmekből országsszerte kastélyok, kúriák épültek. Ennek kedvezményezettjei mégis leginkább az ország nyugati és középső területei voltak (Gyulai 2012).



9. kép. Közöséges vagy vetési búzaszemek Szeder Fábián gyűjtéséből, 1839
(Agrobotanikai Intézet, Tápiószele).



10. kép. Rozsszemek Szeder Fábián gyűjtéséből, 1819 (Agrobotanikai Intézet, Tápiószele).

A gyors fejlődést gyors hanyatlás követte. Az 1820-as évekre süllyedtek a gabonaárak, mert megszűnt a kontinentális zárlat. A mezőgazdasági termékek árai csökkentek, keresletük beszűkült. ár külföldről behozott búzafajták termesztésével is megpróbálkoztak. A kétszerest a 19. században, de különösen annak második felében már csak saját felhasználásra termelték, mert a piacon nem vagy nehezen lehetett értékesíteni.

A keszthelyi Georgikon Gazdasági Tanintézetben 1816-ban az őszi, a bánáti, a majlandi, a nápolyi, a szicíliai, a tuniszi és még más tavaszi búzafajtát is termesztettek (Süle 1967). Farkas (1841) azonban kiáll a hazai búzák mellett: „A mi országunkban legjobb a bánáti búza, apró piros szemű, de más földben elfajul, mint a tokaji venyige: mert jóságát mind éghajlat, mind földje hordja”. Ha nem is ilyen sikerrel, de más hazai búzafajtákat is előfordultak akkortájt, amint arra egy 1829-ből származó feljegyzés utal: Mernyei, Dörgicsei, Göllei, Taszári, Dobszai, Öszödi, Vedéci (Szentiványi 1943).

A dekonjunktúrának hozadéka az az új szellemi áramlat, ahogy Pethe Ferenc nevezte a „pallérozott mezei gazdaságot”. Benne olyan újításokkal, mint a vetésforgó, ésszerű talajerő-gazdálkodás, okszerű talajműveléssel, a termesztett növényfélék bővülésével, a vetőmagvak helyes megválasztásával, takarmánytermesztéssel, bér munka alkalmazásával, az első gépek megjelenésével és mindekelőtt az ismeretek oktatásával. Balázsházy, Nagyváthy, Pethe, Tessedik és a nagy mentor Festetics György. Az újításokat megvalósító főurak közül kiemelkedik a mozgalmat elindító Lilien József báró Ercsiben, majd József nádor Alcsúton létrehozott mintagazdasága.

Ennek ellenére az ország növénytermesztését a 18-19. század fordulóján még az egyoldalú gabonatermelés jellemezte. Az allodiális jövedelem is ebből származott. Még az 1850-es években is az ország több mint 18 %-án termesztettek búzát és kétszerest, valamivel több mint 15 %-án rozst, kicsivel több mint 8 %-án árpat, 16 és fél százalékán zabot, 14 %-án kukoricát. Az ugaron maradt területek érték a 18 %-ot (Gaál 1978). A többi növényre csak 7-8 % jutott.

Etnobotanikai kutatások szerint a gabonafélék együttes termesztése ismert jelenség volt

A Magyar Néprajzi Lexikonban (1977) a kétszeres címszó alatt a búzának és a rozsnak vegyes vetését találjuk egyéb neveit is felsorolva: *kétszerbúza*, *elegybúza* (Alföld), *abajdóc* (ÉK-Magyarország). A Heves vármegyei Átány községben a 20. század legelején még szórványként termesztették a „rozsbúzát”. Termesztését azzal indokolták, hogy a kétfajta gabona közül egyik csak teremni fog. Az persze csak előny volt, ha mindkettő termett. Lisztjét szerették, különösen

kenyeret sütöttek belőle. Vetése azért is szaporodott, mert parlaggazdálkodás esetén gyakran a feltört földbe először búzát, majd a tarlójába, ahová sok szem kihullt, rozstot vetettek, s így majdnem fele vetőmaggal kétszerest nyertek. A kétszeres a búzánál több szalmát is adott, de termése kenyérnek is kitűnően megfelelt. Értékesíteni azonban a tiszta búzával szemben nehezen lehetett (Fél & Hofer 1961). Így volt ez a 20. század elején a Hegyközben is. Ezért termesztése még a szegények körében is visszaszorult (Ikvai N. (1981).

A gabonafélék elegyes termesztésének továbbélésére is számos bizonyíték van. A kisázsiai Taurusz hegység falvainak lakossága még a 20. század első felében is elegyesen vetve termesztette a búzát és az árpat (Tagán 1941).

A gabonafélék elegyes termesztésének szokása még a 20. század második felében sem kopott ki a gazdálkodásból. A svédországi Gottland szigeten túlnyomórészt közönséges búzából álló táblákon még mindig előfordult az alakor, a tönke és a tönköly.

Algériában, az Atlasz hegység önálló családi gazdaságok földjein a két- és hatsoros árpat a közönséges búzával és a durummal elegyesen termesztik.

Az Erdélyben egykor nagy mennyiségben termesztett alakor géneróziójának lépcsőfokaként értelmezhetjük, hogy 1978-ra a tiszta alakorvetés Nagykapuson alakoros, bükkönyt, rozst, közönséges búzát tartalmazó takarmánykeverékké silányult. Kiskapun pedig alakor búzát is tartalmazó zabosbükköny-takarmánykeverékké (Péntek & Szabó 1981).

Faj alatti szintű keverékgabona egykori termesztésének bizonyítékai

A mag- és termésmaradványok tároló/hulladék vermekből, házak, szerük járószintjéről származó földmintákban, ritkán sírokban található, ahová emberi hatásra kerültek. Valamennyi közös jellemzője, hogy szenült állapotban fordulnak elő, mégis rajtuk a faji bélyegek jól felismerhetők. Az archaeobotanikai kutatások mai állása szerint a faj alatti taxonok meghatározására nem lehetséges, mégis számos jegyből arra következtetünk, hogy már a korai időkben léteztek gabona tájfajták.

A fajtahasználat kezdeteire elsősorban a régészeti feltárásokból előkerülő szenült gabonamaradványok összehasonlító metrikus méréseiből következtetünk (Gyulai 2004). Egyes hazai archaeobotanikai leletek arra utalnak, hogy már a nagyon korai időkben bizonyos, egymástól is jól elkülöníthető gabona alakkörök/típusok (fajták?) jöttek létre. Nagyobb populáción elvégzett morfometria vizsgálatok szerint már a korai időkben (késő neolitikum, középső bronzkor, Árpád-kor) léteztek gabonafajták. Ritkán ugyan, de olykor egyazon régészeti korszakon belül, máskor egyazon kultúrához vagy kultúrányázathoz

tartozó lelőhelyek gabonaleletei között faji szinten túl is létezik hasonlóság, ami közös származási helyre utal. Ezek a gabonák helyi tájfajták, vagyis bizonyos körülményekhez idomult, néhol esetleg tömegkiválasztással „fejlesztett” típusok lehettek.

Újabban számítógépes képelemzési vizsgálatokkal kimutattuk, hogy nagyobb recens gabona populáció esetében a szemtermések metrikus értékekkel kifejezhető alak értékei (pl. hosszúság, szélesség, magasság) és dimenzió nélküli forma indexei (pl. hosszúság/szélesség aránya, összenyomottság, tömörség) alkalmasak lehetnek bizonyos faj alatti taxonok jellemzésére (Emődi et al. 2014). Ezek azonban csak rendkívül ritkán és csak nagy számszámú gabona populációk esetén megfigyelhető jelenségek. A fajtajelleg egyébként is nehezen vagy egyáltalán nem mérhető, forma- és alakindexszekkel alig kifejezhető jelenség. Nagyobb populáción elvégzett alak és forma mérések szerint már az őskorban léteztek gabonafajták. Ritkán ugyan, de olykor egyazon régészeti korszakon belül, máskor egyazon kultúrához vagy kultúrirányzathoz tartozó lelőhelyek gabonaleletei között faji szinten túl is létezik hasonlóság, ami közös származási helyre utal. Ezek a gabonák helyi tájfajták, vagyis bizonyos körülményekhez idomult, néhol esetleg tömegkiválasztással „fejlesztett” típusok lehettek.

Szubfosszilis régészeti magleleteknél viszonyítási alap nélkül a fajtahasználat bizonyítása meglehetősen nehezen járható út. Mégis számos nyomból arra következtetünk, hogy már a korai időkben léteztek gabona-(táj)fajták. Ritkán, de olykor egyazon régészeti korszakon belül, máskor egyazon kultúrához vagy kultúrirányzathoz tartozó lelőhelyek gabonaleletei között faji szinten túl is létezik hasonlóság, ami közös származási helyre utal. Annak ellenére, hogy eltérő változatokhoz (fajtákhoz) tartozó leletanyag került elő, feltételezhető, hogy sok esetben ezeket kevert populációk formájában természetették. Az előkerülés körülményei is erre utalnak, mert legtöbbször tárolóvermekben összekeveredve fordultak elő. Azonban az újkorig még semmiképpen sem szabad valamiféle gabonanemesítésről beszélni, így a különféle gabonák csak helyi tájfajták, vagyis bizonyos körülményekhez idomult, néhol esetleg tömegkiválasztással „nemesített” típusok lehettek.

A fajtahasználat legkorábbi bizonyítéka a neolitikum Kr. e. 5. évezred első felére keltezett Berettyóújfalu–Szilhalom lelőhelyről való (Gyulai2004). A különböző helyekről származó mintákban a közel egyenlő mennyiségben előforduló alakor (*Triticum monococcum* subsp. *monococcum*) és tönke (*Triticum turgidum* subsp. *dicoccum*) szemtermések mellett cca. ötször annyi csupasz kétsoros árpa (*Hordeum vulgare* subsp. *distichum* var. *nudum*) szemtermése került elő. A tell különböző helyein talált tönke szemek két típusra különíthetők el. A szemek többsége ugyan az alakorhoz hasonlít, de annál szélesebbek és hosszabbak, alapi

részük felé kiszélesedők, és a csírapajzs feletti részük erősen kiemelkedik. Hasi oldaluk lapos, és ívelt hasi varratuknál szétnyílt. Ez a „hosszúkás típus” nagy hasonlóságot mutat a Dévaványa–Réhelyi gát lelőhely (korban idősebb újkőkori ún. szakálháti–szilmei csoport) tönke szemeihez. A második, „telt-kerek típusba” kevesebb tönke tartozott. Ezek szemei laposabbak voltak, és a csírapajzs felett a háti részük csak enyhébben domborodott ki. Ez a típus az ugyancsak neolitikus (Kr.e. 6. évezred második fele) Pári–Altäcker dűlő tönkéjével egyezett meg. A Pári–Altäcker dűlőben talált mintegy 5 liter (!) szenült tönke szemek valamennyien ebbe a típusba tartoznak. A két lelőhely egyáltalán nem fekszik olyan közel egymáshoz, hogy csak egyszerű magcserére gondoljunk. A gabonaszemeken megmutatkozó típusok, talán helyi fejlesztésű, tömegszelekcióval előállított, és a kultúra körén belül terjesztett fajtákat takarhatnak.

Szép példája ennek a világ legrégebbi csírázó búzája, a bécsi BOKU-ban talált, 1877-ből származó Stuhlweissenburger, azaz Székesfehérvári (Ruckenbauer 1971). Az életrekeltett és kiváló sütőipari tulajdonságokkal rendelkező őszibúza fajta génmegőrzési központokba került. A tápiószelei Agrobotanikai Intézet tenyészkertes vizsgálatai szerint fajtakeverékből áll. Előfordulnak benne tar és szálkás formák és magasságuk is változó volt. A túlnyomó részben az apró, de acélos, pirosszemű *erythrospermum* varietaszok között szórványként más termesztett alfajokat is találni (*Triticum aestivum* subsp. *vulgare* var. *albidum*, var. *lutescens*, var. *milturum*, var. *ferrugineum*). Ugyanakkor nagy hasonlóságot mutatnak a Mezőgazdasági Múzeum maggyűjteményében lévő 1937. évi tiszavidéki búzák viszonylag kicsiny kalászaival (Gyulai 2020).

A magyarság ősi búza génkészlete a *proles hungarica*. A Kárpát-medence, de ott is elsősorban a kontinentális éghajlatú Alföld és annak peremvidékei: Galícia, Bukovina, Besszarábia, Nyugat-Ukrajna a világ egyik legjelentősebb búza-termő körzete. Az ún. „ősi magyar búza” tájfajták morfológiailag és élettanilag megegyeznek a galíciai és nyugat-ukrajnai búzákkal. Az 1863. évi nagy aszály és a rozsajárványok miatt megsemmisült magyar búzafajtákat Galíciából pótolták. A középkor és az újkor folyamán az észak-magyarországi bányavárosok és a máramarosi sóbányák rendszeresen vásároltak galíciai búzák. A 19. század végén a magyar nemesítők is kezdetben az alföldi búzákhöz nyúltak. Ezekből a tájfajtákból válogatták ki a nemesítés alapanyagát. A minőségi búzanemesítés mindig is felhasználta. A svéd búzanemesítés is egy igen régi Bánkúti búzatörzset használt alapanyagként. A Bánkúti búza „javítóbúza” volt, mely a környezeti kihívásokra kevésbé volt érzékeny, ugyanakkor kiváló minőséget adott és hozama is jó volt. Ausztriában Austro-Bánkúti néven ma is nemesítő alapanyagként tartják nyilván az odakerült magyar tájfajtát. A két világháború közti időszak híres Fleischmann 481 őszi búzája a var. *erythrospermum* csoportba tartozott szerémségi tájfajta leszármazottja volt.

A 19. század fordulóján a magyaróvári Növénynemesítő Intézet összegyűjtötte a magyarság búzaörökségét: 700 magyar pedigré búza kalászát és vetőmagját. Ezek a tájfajták genetikai adottságaiknál fogva ellenállóak voltak, az emberi fogyasztás szempontjából előnyös beltartalmi értékekkel rendelkeztek és hozamuk sem volt lebecsülendő. Sajnos a gyűjtemény a második világháborút követő években megsemmisült. A gyűjtemény a búzafajtáknak három csoportját tartalmazta (Székács 1914):

- Bánáti búzák: ezek többnyire szálkás kalászuak voltak, 70-75 %-ban vörös kalászu keverékességgel,
- Tiszavidéki búzák: jobbra szálkás, fehér kalászuak voltak, 15-20 %-ban vörös kalászu keverékességgel,
- Fejér megyei búzák: többnyire szálkás, fehér kalászuak, mindössze 0, 5-1 %-ban vörös kalászu keverékességgel.

A régi búzafajták a Kárpát-medencében sok évszázados fejlődés eredményeként, ún. „népi szelekció” eredményeképpen jöttek létre. A búza tájfajtákra jellemző, hogy genetikai izolációjuk révén fejlődtek ki a helyi környezeti körülmények között, míg a nemesített fajtákat általában erős emberi szelekció hozza létre.

Az ősi „népi” szelekciós nyomás: aratás után kiválogatták a nagyobb egészségesebb kalászeket. A legjobbakat elvetették. Ösztönös nemesítés. Szinte minden tájnak többféle fajtája volt. Egy részük génbankokban.

Az 1800-as évekig Magyarországon különféle búza tájfajtákat termesztettek. A kiegyezés utáni gazdasági fejlődésnek és a népesség növekedésének köszönhetően egyre több búzára volt szükség. Az élenjáró nagybirtokok keresték azokat a fajtákat, melyek többet és biztonságosabban teremnek, mert akkoriban a rozsda, a szárazság és egyéb betegségek nagy károkat okoztak.

A régi magyar búza a minőségéről volt híres, 1885-ben a bécsi tőzsde kiadta Magyarország búzaminőségi térképét. Ez alapján a legjobb búzát termő terület a Tisza középső része és a Bánát volt. Ekkoriban főleg még a tájfajták termesztése volt a jellemző, ám ezek többsége fogékony volt a legtöbb betegségre.

A búza nemesítése hazánkban már 150 évvel ezelőtt elkezdődött, erről tanúskodik Mokry Sámuel 1875-ben megjelent könyve (Beszélgetések a buzatúltermelés káros volta felett), melyben arról ír a gerendái földbirtokos, hogy milyen eredményekkel tudott nagy kalászra búzát szelektálni.

1870-től kezdve az I. és II. világháborúig sok helyen folyt a búzák nemesítése országszerte. A legeredményesebbek ekkor az árpádhalmi, a bánkúti, a diószegi, az eszterházi, az odvosi és a hatvani nemesítések voltak.

Az I. világháború idején egészen az 1920-as évekig a háború miatt romlott a búzáink minősége. Ennek ellenére Székács Elemér, Baross László, Fleischmann

Rudolf és még néhány nemesítő jó termőképességű búzafajtákat tudtak előállítani. Székács Elemér 1906-ban kezdett nemesíteni Sósdon. 1908-ban Árpádhalmán folytatta a nemesítést, kortársai „kalászvadásznak” nevezték el. 1916-ban 9 búzafajtáját ismerték el, 1923-ban 6 búzafajtája kapott elismerést. A búza mellett 7 őszi árpa- és 2 tavaszi zabfajtát is nemesített.

Baross László 1906-ban kezdett nemesítéssel foglalkozni Bánkúton. A Tisza-vidéki búzából pedigré tenyésztéssel Bánkúti 5 és 417 búzákat fajtákat hozott létre. A Bánkúti 5 x Marquis keresztezéséből Bánkúti 1201 és 1205 fajtákat nemesítette, melyek 1931-ben állami elismerést kaptak. A Bánkúti 1201 búza a kanadai Regina városában tartott búza világiállításon I. helyezést ért el. A fajta túlélte alkotóját, negyedszázadon át a legjobb volt hazánkban, még 1965-ben is a vetésterület 65%-án termesztették. Csak 1970-től szűnt meg hazai termesztése. Termesztésből való kivonását azzal indokolták, hogy viszonylag szerény volt a termőképessége, fogékony volt a betegségekre, magas szárából adódóan hajlamos volt a megdőlésre és nehéz volt géppel aratni. Ennek ellenére a kisparaszti gazdaságokban és a külhoni magyarság körében továbbra is maradt ez a könnyen termesztethető és kiváló minőséget adó fajta. Napjainkban pedig úgy tűnik reneszánszát éli.

Emlék, vagy van-e helye a búza keverékvetésének? Tények és bizonytalanságok.

A fentiek alapján bizonyos, hogy a múltban a búzafaj és fajtákat együttesen, és más gabonaneműekkel, elsősorban a rozssal együtt termesztették. Ami bizonytalan, az az ok. Véleményünk szerint a közönséges búza és rozs együttes termesztésénél többről van szó, mint sem azt egyszerűen biztonsági okokkal kellene magyarázni. További előnyt jelent, hogy az elegyes termesztésnél sokkal kevésbé dől meg a gabona. Az is lehet, hogy már akkor rájöttek arra, hogy különböző gabonafajok és fajták együttes termesztésekor az állomány egységesebb lesz, nagyobb hozamot produkál, mint külön-külön (stimuláló hatás), és ellenállóbbá válnak a kórokozókkal (gazdanövény hiátus), csakúgy mint a környezeti szélsőségekkel szemben.

Egy társulás faji diverzitása minél nagyobb, annál stabilabb. Az agrobioidiverzitás alatt a termesztett növények sokféleségét értjük. Fogalomkörébe tartoznak az agrobiocönózisok (mezőgazdasági művelés alatt álló területek), az ott lévő kultúrflóra (a kultúrfajok fajtái, változatai), az ott élő egyéb növényfajok (gyomok, gombák, algák stb.) és a genetikai tartalékok. Genetikai tartalékok alatt a köztermesztésből kikerült fajtákat, tájfajtákat, ökotípusokat és a kultúrnövények vad rokonfajait értjük. Tulajdonképpen az agrobiocönózisok is ilyen „növényi társadalmi” egységek.

Gabona tájfajták alatt a domesztikált növények olyan szabad beporzású populációját vagy vonalát értjük, amely eltérő fenotípust képviselnek és genetikailag diverzek. Az eredetüket tekintve őshonos, helyesebben régen honosult (*autochthonous*) növények, amelyek egy adott régióban régóta természetnek. Olyan fajták vagy növényi populációk, amelyeknek egyedei gyakran nagyon változatos megjelenésűek, genetikai struktúrájukat a gazdálkodók szelekciós és termelési gyakorlata, továbbá a természetes szelekciós folyamatok alakították a több generáció óta tartó termesztésük folyamán (Harlan 1992, Zeven 1998). A tájfajták adaptálódtak a történeti termesztési régió természetes és kulturális környezetéhez, toleránsak a biotikus és az abiotikus stresszel szemben, és relatíve hozam stabilitást mutatnak. A tájfajták elsősorban a hagyományos gazdálkodási rendszerekhez kapcsolódnak és mentesek a formális nemesítési technikáktól. Gazdasági értéket általában akkor képviselnek, ha a minőségi élelmiszerek iránti igény megnő, és a társadalom érzékennyé válik a diverzitás csökkenésének problémájára. A tájfajták regisztrációja során a DUS kritériumok meglétének vizsgálata nem érvényesíthető, a fajtaregistrációhoz speciális feltételek megállapítására van szükség.

A korai társadalmakban a földművelés megjelenésével kezdődött el az a máig ható tudatos szelekció, amely évezredek alatt fokozatosan átalakította a Föld természetes flóráját (Zohary et al. 2012) Ennek a folyamatnak eredményeképpen néhány száz növényfaj rohamosan nagy területeken terjedt el, s a természetes ökoszisztémákat újszerű, lényegesen egyszerűbb felépítésű agrobiocönózisok váltották fel. Ezek az új típusú növénytársulások az önszabályozó és önfenntartó természetes rendszerekkel ellentétben folyamatos emberi beavatkozásokat (pl. talajművelés, tápanyag visszapótlás) igényelnek, amely végső soron jelentős mennyiségű termék (biomassza) előállítását, s ezzel párhuzamosan igen nagy számú fogyasztó szervezet bekapcsolását teszi lehetővé az energia- és anyaghasznosítási láncba (Gyulai & Laki 2005).

Jelen korunk gabonatermesztését a fajban egyre gyérülő diverzitás jellemzi. A mind nagyobb termőképesség eléréseért folytatott folyamatos harc, a fogyasztási igények, a technológiai, közgazdasági és politikai viszonyok változásai, de a divat is állandóan módosították az egykoron termesztett kultúrnövények fajtaösszetételét, számos közülük végképp kikerült a termesztésből. A búzanemesítés célja a hozam, minőség, rezisztencia stb. Sajnos van ennek árnyoldala is. A magasabb sütőipari minőségért megnövelt sike- (glutén)tartalom az arra érzékeny embereknél betegségeket (gabonaallergia, cöliákia) okozhat. Az ősi pelyvás búzák (alakor, tönke, tönköly), bár hozam és sok más tekintetben elmaradnak a mai szuperelit vetési búza fajtáktól, beltartalmi értékeiknél fogva fogyasztásuk kedvező élettani hatásokkal bír.

Egy új gabonafajta ún. DUS vizsgálatait az új növényfajták oltalmára létesült nemzetközi egyezmény, az UPOV (L'Union internationale pour la Protection des Obtentions Végétales) szabályozza. Az Egyezményhez Magyarország 1983-ban csatlakozott.

- D = Distinctness = Megkülönböztethetőség (A fajta minden más közismert fajtától különbözik).
- U = Uniformity = Egyöntetűség (A fajta megfelelően egyöntetű, ezáltal leírható, beazonosítható).
- S = Stability = Stabilitás (A fajta évről évre, minden szaporítási ciklus után ugyanúgy néz ki).

Tény, hogy a nemesített fajták nem minden esetben tolerálják a szélsőségszebb termesztési körülményeket (talaj, klímaváltozás). Ráadásul a nagy terméshozammal kecsegtetett új búzafajták csak a tenyészkertben hozzák az elvárt eredményeket. Alkalmazkodóképességüket nem vizsgálják.

A globális felmelegedés, különösen pedig az időjárási szélsőségek új kihívások elé állítják a gabonatermesztőket. Sokszor elmondják, hogy a változó körülményekhez adaptált növényfajtákra van szükség. Mivel a korábbi fajták egyre rosszabbul tolerálják a megváltozott termesztési körülményeket. A „hagyományos” nemesítés mellett az útkeresés biztató példája szerint fajtakeverékek termesztése adhatja a megoldást erre.

Észak-Kína területén 2017-2022 között terepkísérleteket folytattak búzafajta keverékekkel változó éghajlati viszonyok között. A búzafajták keverékeinek (genetikai sokféleség) termesztése hatékonyan enyhítette a magas hőmérsékleti stressz negatív hatását ezerszemtömegre, és javította a gabonavíz-felhasználás hatékonyságát a szárazabb években (Kong et al. 2023).

A mai fajtaközpontú és számos gazdasági érdektől átszőtt növénynemesítés nem támogatja ennek az archaikus keverékgabona-termesztésnek a felelevenítését. Az ökológiai gazdálkodás keretei között lehetőség nyílhat ennek a Kárpát-medencére oly jellemző és igen hasznos egykori gazdálkodásmódnak, a búza keveréktermesztés felidézésére és hasznossá tételére.

Irodalom

- Angyalffy M. A. (ed.) (1829): Mezei Gazdák' Barátja, I-II. Trattner és Károlyo, Peth, 408 p.
- Barabás Zoltán (ed.) (1987): A búzatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, 1987, 537 p.
- Berzsényi, B. & Gyulai, F. (1998): The Archaeobotanical Analysis of the Middle Bronze Age Settlement at Bölske-Vörösgyir. 31st Internatinal Symposium on Archaeometry. Budapest, 27 April-1 May, Lectures, Abstracts, 25. p.

- Eckhart F. (1958): A bécsi udvar gazdaságpolitikája Magyarországon, 1780-1815. Apostol, Akadémiai Kiadó, Budapest. 492 p.
- Emődi A, Gyulai F, Mravcsik Z, Gyulai G, Sz Vinogradov, Szabó T. A. & I Rovner (2014) Digitális magmorfometria I. A termesztett alakor fajták és tájfajták (T. m. ssp. monococcum) elemzése. Növénytermelés 63, 61-70.
- Farkas F. (1841): Sáfárkodó Magyar Gazda I-II. Landerer és Heckenast, Pest, 239 p.
- Fél E. & Hofer T. (1961): Az átányi gazdálkodás ágai (Néprajzi közlemények 6/2, 224 p.
- Füzes M. (1972): Előzetes jelentés az 1967. évi pogányszentpéteri kolostor-ásatás XVI. század eleji gabonaleletéről. Thúry György Múzeum Évkönyve, Nagykanizsa, 285-290.
- Nováki, Gy. (1969): Änderungen der Weizenarten in Ungarn von der Bronzezeit bis zum Mittelalter. Móra Ferenc Múzeum Évkönyve 2, 39-45.
- Gaál L. (1978): A magyar növénytermesztés múltja. A Magyar Tudományos Akadémia Agrártörténeti Bizottságának kiadványai. Akadémiai Kiadó, Budapest, 637 p.
- Gerendás E. (1934): Az Esztergomi Főkáptalan garamszentbenedeki birtokterülete a XVIII. század második felében. (Tanulmányok a magyar mezőgazdaság történetéhez 9.) Buschmann F. utódai, Budapest, 175 p..
- Gyulai F. & Laki G. (2005): Régi fajták, mint a mezőgazdaság fenntarthatóságát szolgáló diverzifikáció lehetséges eszközei. Ökotáj 35/36, 87–92.
- Gyulai F. (1999): A Rákospalota-Újmajor 1. lelőhelyről származó növényleletek archaeobotanikai feldolgozása. (Archaeobotanical Analysis of the Botanical Remains Collected from the 1996. Excavations at the Motorway M0 site No. 1 Rákospalota-Újmajor). In: Bencze Z., Gyulai F., Sabján T. & Takács M.: Egy Árpád-kori veremház feltárása és rekonstrukciója. Monumenta Historica Budapestinsia 10, Budapest, 200 p., 73-91.
- Gyulai F. (2001): Archaeobotanika. A kultúrnövények története a Kárpát-medencében a régészeti-növénytani vizsgálatok alapján. Jászöveg Műhely, Budapest, 221 p.
- Gyulai F. (2004): A fajtahasználat legkorábbi bizonyítékai a Kárpát-medencében? Növénytermelés 53/4, 305-401.
- Gyulai F. (2014): Újabb eredmények a honfoglaló magyarság étkezési kultúrájának feltárásában: Edelény-Borsodi földvár ételmaradványainak vizsgálata. In: Révész I. & Wolff M.: (eds.): A honfoglalás kor kutatásának legújabb eredményei. Tanulmányok Kovács L. 70. születésnapjára. Monográfiák a Szegedi Tudományegyetem Régészeti Tanszékéről 3. Szeged, 2013, 885 p., 715- 734.
- Gyulai, F. (2010): Archaeobotany in Hungary. Seed, Fruit, Food and Beverages Remains in the Carpathian Basin: an Archaeobotanical Investigation of Plant Cultivation and Ecology from the Neolithic until the Late Middle Ages. Archaeolingua, Budapest, 479 p.
- Gyulai F. (2012): A 19. század elejének magyar gabonái. In: Szotyori-Nagy Á. (ed.): Gazda és növénye a 19. században. Tanulmánykötet a Gazda és növénye a 19. században c. konferencián (Keszthely, 2012. május 16-17.) elhangzott előadások szerkesztett változataiból. Magyar Mezőgazdasági Múzeum, Georgikon Majormúzeum, Keszthely 2012, 43-54.

- Gyulai F. (2020): Kicsírázik-e a múmiabúza? In: Tardy J. (ed.): Csalások, csúsztatások, csalafintaságok a tudományban 1-4. A Magyar Természettudományi Társulat tanulmánykötetei IV. Magyar Természettudományi Társulat tanulmánykötetei, Budapest, 420 p., 195-214.
- Harlan J. R. (1992): Crops and man. 2nd ed. American Society and Agronomy, and Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. Cambridge University Press, 284 p.
- Hartványi B., Nováki Gy. & Patay Á. (1967/68): Növényi mag- és termésleletek Magyarországon az újkőkortól a XVIII. sz.-ig I. Magyar Mezőgazdasági Múzeum Közleményei 1967/68, 5-85.
- Ikvai N. (1981): Földművelés a Zempléni-hegység középső részén. Borsod megyei Nyomdaipari Vállalat, Miskolc, 367 p.
- Kong, X., Li, L., Peng, P., Zhang, K. Hu, Z. Wang, X., & Zhao, G. (2023): Wheat cultivar mixtures increase grain yield under varied climate conditions. Basic and Applied Ecology 69,13-25.
- Magyar Néprajzi Lexikon I-II. (1977): In: Ortutay Gy. (ed.), Akadémiai Kiadó, Budapest 1977,
- Makkai L. (1957): Paraszti és majorsági mezőgazdasági termelés a XVII. században. (Az Agrártudományi Egyetem Központi Könyvtárának kiadványai 5. sor. Agrártörténeti tanulmányok 2.) Mezőgazdasági Kiadó, Budapest-Gödöllő, 31 p.
- Péntek J. & Szabó T. A. (1981): Az alakor (*Triticum monococcum* L.) Erdélyben. Ethnographia 92, 259-277.
- Pethe F. (1805-1816): Pallérozott mezei gazdaság I-III. Belnay, Pozsony. 709 p.
- Radics L. (1994): Szántóföldi növénytermesztés tan. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Kertészeti Kar. 220 p. VETÉSFORGÓHOZ
- Ragasits I. (1998): Búzatermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 152 p.
- Ruckenbauer P von (1971) Keimfähiger Winterweizen aus dem Jahre 1877. Beobachtungen und Versuche. Inst. Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Hochschule, Bodenkultur in Wien, 372-386.
- Süle S. (1967): A keszthelyi Georgikon. Akadémiai Kiadó, Budapest, 245 p.
- Szabó J. (1793): Vátzi gabona. Ambro, Vátz, 110 p.
- Székács E. (1914): A magyar búza nemesítésének kérdése. Róth, Hódmezővásárhely, 24 p.
- Szentiványi B. (1943): A piarista kuszodiátus gazdaságtörténete. Szent István Társulat, Budapest, 428 p.
- Tagán G. (1941): Néprajzi megfigyelések a kisázsiai Taurusz hegység déli részén. Ethnographia 52, 230-245.
- Zeven, A. C. (1998): Landraces: A review of definitions and classifications. Euphytica 104, 127-139.
- Zohary, D., Hopf, M. & Weiss, E. (2012): Domestication of Plants in the Old World. University Press, Oxford, 243 p.

Miért természetvédelem a vadgazdálkodás?

Konfliktusok és együttműködés.

Heltai Miklós

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet, Gödöllő

heltai.miklos.gabor@uni-mate.hu

Amíg a természeti népek a vadászatot életük részének és mind védelmük, mind ellátásuk szempontjából fontos, sőt nélkülözhetetlen tevékenységnek tekintették, addig a modern társadalmak, a történelmi kortól függetlenül ambivalensen álltak hozzá. Csak egy példa: már az ókori Görögországban, míg Szolón kifejezetten tiltotta az athéniaknak a vadászatot, addig Xenophóntól származnak – többek között – az első vadászati leírások.

Az ambivalens hozzáállásból jelenünk fel haladva egyre inkább a vadászat teljes, vagy majdnem teljes elutasítása következett be. A XX. és XXI. századi társadalmak, ahogy egyre jobban szakadtak, szakadnak el a természettől, úgy tartják a vadászatot egyre kevésbé elfogadható tevékenységeknek. A természeti értékekben bekövetkező változások, a fajok jelentős állománycsökkenései, a természetes élőhelyek és életközösségek eltűnése, vagy degradálódása csak felerősítette ezt az általános társadalmi hozzáállást. A természetvédelmi és állatvédelmi mozgalmak, és sok esetben a hivatalos természetvédelem is e létező jelenségek egyik fontos okaként a vadászatot, vagy annak valamelyik illegális változatát szokta megjelölni. Ez utóbbi esetben pedig sokszor mosódik össze a legális és illegális tevékenység – marad a mindenki számára jól azonosítható vadászat, mint a természeti értékekre leselkedő fontos veszélyforrás.

A részben ez alapján a vadászatot elítélő és el nem fogadó társadalom csak ritkán gondol bele abba, hogy a természetre jelentkező legfontosabb veszélyforrást saját magában kell keresnie. Az élőhelyek minőségét és így az egyes fajok elterjedését és állományváltozását elsősorban a társadalmi igények miatt kialakuló gazdálkodási tevékenységek, mint például a mezőgazdálkodás határozza meg. A korábbi természetes, vagy természetközeli területeket érintő, vagy akár megszüntető építkezések is a társadalom többségének érdekeit szolgálják, ahogy sok esetben a gyomok, vagy rovarok irtása is. Azaz a természeti értékeket veszélyeztető tényezők közül a vadászat sokkal kisebb szerepet képvisel, mint az általános társadalmi hatások és különösen igaz ez az olyan jól szabályozott és ellenőrzött vadászat esetében, mint az európai, és hazai vadászati tevékenység. Sokszor tűnik úgy, a vadászat egy fajta társadalmi bűnbak szerepét tölti be: a természetben közösen okozott károkért, fokozottan lehet hibáztatni ezt a sokak által nem ismert hagyományú és célú tevékenységet.



A társadalom természethez, természeti értékekhez való hozzáállása a vadászat hibáztatásán túl is észlelhető. Miközben ugyanis általánosnak tekinthető állítás, hogy milyen nagy probléma a természeti értékekben történő negatív hatások, benne egyes fajok állományainak és elterjedési területének jelentős csökkenése, addig ugyanez a társadalom nem tud mit kezdeni azzal a jelenséggel, amikor más fajok alkalmazkodnak az ember által uralt és meghatározott élőhelyekhez és állományaik nö-

vekedni kezdenek. Különösen a konfliktusos, kárt okozni képes fajok esetében igaz, hogy ilyenkor a hatásban érintettek hirtelen "túlszaporodásról" beszélnek és beavatkozást követelnek. Természetesen a "túlszaporodásért" is sokszor a vadászat a felelős. A jelenségnek további érdekessége, hogy madárfajok igen ritkán "szaporodnak túl", ezekben az esetekben általában csak örömdetes állománygyarapodás figyelhető meg. Úgy tűnik a "túlszaporodásra" igazából csak vadászható emlősfajok képesek. A hibás természetesen a nem megfelelő vadászati gyakorlat... És amikor a növekvő állományok egyre nagyobb konfliktusokat, károkat okoznak, akkor szoktak jönni az antropocén ötletek: fogamzásgátlás, áttelepítés, ivartalanítás, kerítésépítés, és a békés együttélés emlegetése.



A modern vadgazdálkodás alapja az ökológiai tudás, a vadbiológiai megalapozás. Csak a vadgazdálkodás által kezelt fajok és élőhelyek, az ezeknek helyet adó társulások és az azokon belüli kapcsolatrendszerek ismerete adja meg a tudatos, tervezett, ellenőrizhető és ellenőrzött, és természetesen eredményes vadgazdálkodás lehetőségét. Az eredmény ebben az esetben a kitűzött célok elérését jelenti. Ez esetben válhat a vadgazdálkodás a társadalom fontos szolgáltató területévé, együttműködve azzal, és megmutatva, hogy a vadgazdálkodás nem veszélyezteti, hanem védi a természeti értékeket és számos esetben tud megoldást hozni a természeti értékekkel és erőforrásokkal való gazdálkodás problémáival kapcsolatban. És ebben a munkában a vadgazdálkodás egyik legfontosabb eszköze a vadászat.

Válogatós tyúkok, kíváncsi disznók és érzelmes marhák: avagy a nagyüzemi állattartás kihívásai.

Tóthné Maros Katalin

katalin.maros65@gmail.com

Az állati viselkedést alapvetően két mechanizmus vezérli. Ezek egyike az ösztön, az ösztönös viselkedés, amit az állatok a génjeikben hordoznak, és sok millió éves adaptációs események eredménye. Mi a cél? A túlélés és a szaporodási siker.

A másik mechanizmus a tanulás. Az, hogy mely fajok mikor (értsd egyed-fejlődésük mely szakaszában) mit képesek megtanulni, szintén az adaptáció egy formája, és genetikailag kódolt. Mi a cél? A túlélés és a szaporodási siker.

Vajon milyen következményei lehetnek annak, ha egy állatfaj valamely egyedét/egyedeket olyan környezetbe helyezünk, ahol az alapvető ösztöneik kifejezése – többé-kevésbé – gátolt? Például hiányoznak a viselkedést kiváltó kulcsingerek. Vajon hiányozhat-e valami olyan az állatnak, amivel sohasem találkozott, de a génjeiben hordozza a „tudást”.



Egy kiscsirkét nem kell megtanítani kapirgálni, egy malacot sem turkálni és egy kiscsikót vagy borjút sem legelni. És mindjárt oda is értünk az egyik leg-alapvetőbb ösztönös viselkedésformához: a táplálkozáshoz. Gazdasági haszonállataink túlnyomó része olyan ősökkel bír, amelyek a napjuk egy

jelentős részét táplálkozással töltik. A táplálék nem hullik az ölükbe, menni kell utána, keresgélni, válogatni. Gondoljunk csak a vaddisznókra. Aki látott már vaddisznók által feltúrt területet, sejti, hogy micsoda munkával szedik össze maguknak a napi betevőjüket. De ugorjunk át a tyúkudvarok látványára. Hiába van előttük egy vályúban vagy a földre szórva folyamatosan valami szemes, és vág a gazdájuk nekik minden nap valami kis zöldet is, mindent kicsipegetnek, mindent felkapirgálnak. Keresgélnek, csipegetnek, kapirgálnak, válogatnak.

Az ősi motiváció, a táplálkozás appetitív szakasza mélyen beléjük van kódolva. És most ugorjunk ismét egy kicsit, egy másik helyszínre. Egy zárt épületben, emeletes sorokban, drótaljzattal rendelkező tojóházba. Ott is tyúkok élnek, és bennük is ott van a bekódolt parancs: ha enni akarsz, keress, csipegess, kapirgálj! Számos etológiai tanulmány kellett ahhoz, hogy kiderüljön: az egyik fő ok, amiért a ketrecekben vagy akár a mélyalmon tartott tyúkok hajlamosak kicsipkedni egymás tollait, az a kapirgálás gátoltsága. „Válogat a kendermagban, a kiskirály sem él jobban.”



Hasonló a helyzet a sertésekkel. Főként a választott malacok-hízók hajlamosak arra, hogy jobb híján, egymás fület és farkát rágcsálgassák. Értelmes, kíváncsi állatok, a kutricákban pedig – praktikus okokból – nem sok izgalmas dolog van a számukra. Pedig egy fiatal állatnak az egyik legfontosabb tevékenysége, hogy mindent megvizsgáljon, megszaglásszon, megrágcsáljon. Aki nevelt már kiskutyát, érti, hogy miről beszélek. Babe, a filmcsillag kismalac idomárja (több malackával is dolgozott a film elkészítése során) nyilatkozta egyszer, hogy a sertések intelligenciája a kutyákéval vetekszik.

A táplálkozás alapvető az életben maradáshoz, de egy alapvetően társas lénynek ez nem elég a boldogsághoz. Társak is kellenek, akik biztonságot adnak, akikkel lehet kiskorban (és gyakran felnőttkorban is) játszani, akiktől lehet tanulni és akik lelki támaszt is nyújthatnak, ha a szükség úgy hozza. Egy-egy stresszes állat idegessége a fajtársaira is átragadhat. Ahogyan a nyugalma is. A szarvasmarhák komplex társas kapcsolatainak megértése nem csak az etológusok számára izgalmas. Egy békés tehén több tejet ad, egy békés tyúk többet tojik és egy békés hízó is jobban gyarapodik. Ilyen az, amikor az ember és az állat érdekei találkoznak. A mikéntek és a miértek megértésével, a technológiák apró változtatásaival is komoly eredményeket lehet elérni. Ehhez tehet hozzá egy picit az etológia tudománya.



Bizonyosság és bizonytalanságok a növényorvoslásban

Tóth Endre Kristóf

Magyar Növény-Mikroszaporítók Egyesülete, Budapest

toth.endre@atk.hun-ren.hu

Közismert, hogy a természettudományok területein nagyrészt sztochasztikus folyamatokkal találkozunk, a mérnöki gyakorlatban viszont a determinisztikus rendszereket szeretik. Így van ez a növényorvoslásban is. Számos esetben a teljes bizonyosság és a teljes bizonytalanság között húzott képzeletbeli egyenes mentén tologatjuk ítéleteinket, attól függően, hogy mennyi háttér-információt sikerül beszerezniünk. Előadásomban erre mutatok be néhány, fontosnak gondolt példát.

Diagnosztika

A növényorvoslással kapcsolatos munkáim során négyféle diagnózis kategóriát alkalmazok: „biztos, valószínű, talán, nem tudom”. Biztos a diagnózis, ha az azonosító jegyek teljesen egyértelműek. Ilyen például, ha a krizantém levele fonákján kiemelkedő, bőrszövettel borított, fehér rozsdatelepek vannak, valamint mikroszkóposan látható teleutospórákat (teliospórákat) találunk, bizonyos, hogy *Puccinia horiana* (Hennings 1901) rozsdagomba okozta kórkép krizantém levélen.



1. ábra. *Puccinia horiana* (Hennings 1901) rozsdagomba okozta kórkép krizantém levélen.

Máskor viszont nem ilyen egyszerű a kórisme, a bizonyosság mértéke a háttérvizsgálatok mennyiségétől, jellegétől, eredményeitől és megbízhatóságától függ, akárcsak a humán- és állatorvoslásban.

Ha egy hervadó muskátli (2. ábra) szárából egy sárga telepű, Gram-negatív baktérium tenyészthető ki (3. ábra), de nincs specifikus ELISA diagnosztikai készletem, akkor a diagnózis: talán *Xanthomonas*. Viszont, ha időközben megérkezik a készlet és pozitív lesz a minta eredménye, akkor az diagnózis nagy valószínűséggel: *Xanthomonas hortorum* /immundiagnosztikai módszerek esetében ritkán ugyan, de előfordulhatnak keresztreakciók s így álpozitív eredmények/. S ha még további visszafertőzőési kísérletet végzünk (lásd: Koch féle posztulátumok) és a megfelelő polimeráz láncreakció (PCR) vizsgálatok is pozitívak, akkor ismét kategóriaváltás történik, a diagnózis: a kórokozó bizonyosan *Xanthomonas hortorum* pv. *pelargonii* baktérium. Ez esetben a teljes bizonyosságra nagy szükség van, mivel súlyosak a következmények: ha ez a baktérium jelen van, akkor a fertőzött anyanövény állományt meg kell semmisíteni.



2. ábra. Beteg, elhalófélben levő muskátli. (Számos ok miatt kerülhet ilyen állapotba: technológiai hiba, többféle baktérium, különféle gomba és moszatgomba (Oomycota) kórokozók).

3. ábra. Ha a muskátli szárából sárga telepű, Gram-negatív, pálcika alakú baktérium tenyészthető ki, akkor *Xanthomonas*-ra gyanakodhatunk.



A kémiai növényvédelem ártalmassága a környezetre

Az kétségtelen, hogy nagy baj van a legtöbb ökoszisztémával, az utóbbi 20-30 évben jelentősen lecsökkent a rovarok száma és fajgazdagsága, a madarak száma szintén világszerte drámaian zuhan s a méhekkel is bajok vannak. Az okokról érdeklődve a válasz szinte minden fórumon legtöbbször automatikus: az ok a kémiai növényvédelem és a nagyüzemi mezőgazdaság. A váddal azonban sok minden nem stimmel: a hetvenes- nyolcvanas években, amikor több és brutálisabb (mérgezőbb és perzisztensebb) növényvédőszert használtak (nálunk átlagosan 7 Kg/ha/év körül, az utóbbi 20-25 évben csak 1,7 Kg/ha/év körül), akkor miért volt sokkal több rovar és madár? Csak az utóbbi években jelentek meg olyan óvatos cikkek, amelyek arra mutatnak rá, hogy mennyi minden más tényező is okozhatja (kumulálódva) e rendellenességeket (a kémiai védelem valóban fennálló káros hatása mellett). A National Geographic (2020) felhívta a figyelmet: Észak-Amerikában évente 624 millió madár veszti életét az épületeknek ütközés miatt, 213 millió lesz az autók áldozata, 55 millió pusztul el a távvezetékek miatt és 764 millió lesz az egyre gyarapodó számú, kedvenc házimacskák áldozata. Ez összesen több mint másfél milliárd madár évente, csak Észak-Amerikában! Egy másik tanulmány szerint Európában évente 194 millió madarat és 29 millió emlőst ütnek el. Nem gondolom, hogy a növényvédőszerek okozta pusztulás ezt az adatot kicsit is megközelítheti, ha tíznél több madár pusztul el valamilyen vegyszertől egy adott helyen, az már bekerül a napi hírekbe s ez bizony ma már nem sokszor fordul elő.

A (részben feltárt) egyéb káros hatások csoportjai

Az ideális élőhelyek méretének folyamatos csökkenése (ideértve az inváziós fajok térnyerését és a falusi állattartás jelentős visszaszorulását is).

Mikroműanyagok nagy mennyisége a természetes vizekben és most már az élő szervezetekben is (lásd pl. Koelmans et al., 2019).

Nem ionizáló elektromágneses tér („elektroszmog”) (nagyfeszültségű elektromos vezetékek, mobiltelefonok és wifi jelek elektromágneses sugárzása). Egy friss, számos vizsgálat meta-analízise szerint, az elektroszmog megzavarhatja a rovarok és más állatok tájékozódó és túlélő képességét (Levitt et al., 2021).

Fényszennyezés Egy tanulmányból (Sanders et al., 2021) kiderül, hogy a fényszennyezés az állatvilág különböző fajainak széles skáláját érinti, befolyásolja a hormonszintet, a szaporodási ciklust, az állatok aktivitását. A kutatók 126 korábbi tanulmány meta-analízisével vizsgálták a fényszennyezés élővilágra gyakorolt hatását a rovarok végezte beporzás csökkenésétől a fák korai rügyezésén át a világítótornyokba repülő tengeri madarakig.

Polárosfény csapdák A poláros fényszennyezés a mesterséges poláros fénynek a polarizációérzékeny állatokra kifejtett ártalmas hatásait jelenti. Ez egyértelműen a környezeti ártalmak egyik (viszonylag új) formája, mivel e felületeken az odavonzott polarotaktikus rovarok gyakran, míg az általuk lerakott peték minden esetben elpusztulnak (Horváth és munkatársai, (2016).

Légszennyezés A Cornell Egyetem és az Oregoni Egyetem kutatóinak tanulmánya a madarak száma és a légszennyezés közötti kapcsolatot vizsgálta (Liang et al., 2020). A légszennyezés nem csak a madaraknak képes közvetlen fizikai károsodást okozni, hanem a növények egészségére is ártalmas és csökkenti a rovarok számát is.

Rengeteg, a háztartásban és építőiparban használt vegyszer (mind a vegyületek számában, mind az ösztömegében jóval meghaladja a növényvédőszerekét).

Egy biztos: az emberiség torz életmódja okozza a természet károsodását, amelynek bizonyosan egyik eleme a kémiai növényvédelem, amely azonban valószínűleg nem a legfontosabb tényező, ugyanakkor nagy értékkeremtő és értékmentő jellemzővel bír (ellentétben az autózás nagy részével, a felelőtlen hobbiállattartással, a PET palackokkal és más feleslegesen termelt műanyagokkal, a fast fashion vásárlással, az öncélú, rongyrazó presztízs fogyasztásokkal, stb.)! A bizonytalanságot a károsító tényezők arányainak és az esetleges szinergista hatásainak nem ismerete okozza, pedig ez létfontosságú lenne. Sajnos az ilyen jellegű, rendkívül összetett kutatásokra nehezen lehet pénzforrásokat találni.

Ugyanakkor a kemofóbiának nevezett társadalmi jelenség egyre terjed, sikk lett nem érteni a kémiához és fizikához, de a karcos megítéléseket mindenki jogosnak tartja.

A természettudományos ismeretek, az erős növényvédelmi kémia és a károsítók jellemzése nem azért kell, hogy még több vegszerrel áraszhassuk el a világot, hanem hogy miképp lehetne még kevesebbel. Ennek fényében még inkább sajnálatos az agrárkémikusi képzés megszüntetése Keszthelyen a Georgikonban.

Amikor tehát egy szakmát megítélünk, sőt elítélünk, érdemes alaposan tájékozódni, mert ennek híján téves és veszélyes nézetek születnek és szilárdulnak dogmává s amelyek tovaggyűrűzve és sokasodva a politikusoknál és aktivista csoportoknál rossz döntésekhez vezetnek.

„Mindenki azokat a dolgokat ítéli meg helyesen, amelyeket ismer” (Arisztotelész).

Meddig terjedjen ki a növényorvosi hivatás hatóköre?

Növényvédő mérnök, növényvédelmi szakmérnök, újabb elnevezéssel: növényorvos. Az emberek egy (kisebb) részének van valamilyen fogalma, miféle feladatai lehetnek az említett hivatásnak, noha vannak olyanok is, akik megkérdőjelezzik e szakma létjogosultságát.

Hagyományosan ezeket a feladatokat gondolják a növényorvoslás lényegének: kórokozók, kártevők azonosítása, a védekezés megtervezése, a végrehajtás után a védekezés eredményességének vizsgálata, a gyomszabályozás megtervezése, adminisztráció (pl. növényútlevelek).

A valóságban már manapság is jóval szélesebb feladatkörrel rendelkezünk: esetenként a védekezések végrehajtása (4. ábra) és közvetlen irányítása, a kártételi veszélyhelyzet határának megállapítása, a karantén károsítók monitorozása, a talaj- és növényanalitikai vizsgálatok értékelése s ennek alapján növénytáplálási tanácsadás, kísérletek beállítása az új készítmények hatékonyságának vizsgálatára, előrejelző eszközök (pl. szexferomon rovarcsapdák, sárga lapok, fénycsapdák, stb.) telepítése és a rajzások figyelése, vírusmentesítési (biotechnológiai) programok merisztéma-tenyésztéssel (5. és 6. ábra) s a hozzá tartozó vírusesztelések (indikátornövények, szerológia, PCR/), valamilyen rezisztenciával rendelkező mutánsok izolálása növényi szövettenyészetekből, biológiai védekezési rendszerek megtervezése és kiépítése.

Bizonyos, hogy a közeljövőben még tovább bővülnek a feladatkörök, de bizonytalan, hogy e határterületekre milyen mértékben „engedik be” a növényorvosokat. Ezek: a növényvédő (és a herbicideket mellőző) gyomírtó robotok „betanítása” és munkájuk megtervezése, a drónpilótaság, aktív részvétel az új növényfajták rezisztenciára nemesítésében, a biológiai védekezésre alkalmas új szervezetek keresése, kórélettani kutatás és a kórélettani paraméterek in situ mérése, a növény-biotechnológiai produktumok (pl. génszerkesztett növények) kockázatbecslése.

Bizonyos, hogy ennyi valóságos, vagy potenciális feladatra nem lehet a hallgatókat 2-2,5 éves MSc. stúdiumokkal felkészíteni, ezért szükség van az osztattalan 5 éves növényorvos képzésre, amelynek tanrendje célszerűen a már említett agrárkémikus képzésre emlékeztetne, azzal a különbséggel, hogy ki kellene venni a tanrendből az állattenyésztéssel és takarmánykémiai foglalkozó tantárgyakat és ezek helyét molekuláris biológiai, kórélettani és robotikai képzéssel kellene kitölteni. A képzés magas színvonalának elérésekor pedig a növényorvosoknál is megadható lenne a foglalkozásdoktori cím.



4. ábra. Esetenként a védekezések végrehajtása is a növényorvosra marad. (In vitro vírusmentesített és mikroszaporított, majd kiültetett bodza palánták atka elleni védelme pisztolyos nagynyomású kezeléssel)



5. ábra. Hajtáscsúcs merisztéma kioperálása steril körülmények között. (Tekinthejtjük összejt terápiának is, mivel e 100-200 mikrométeres, még nem differenciálódott, gyorsan osztódó sejteket tartalmazó „kupolába” a vírusok többsége nem jut be, így, ha ezt a merisztéma-csúcsot a beteg szövetek közül kioperáljuk, és táptalajra helyezve teljes növénykévé fejlesztjük, akkor vírusmentes növényt kaphatunk.)



6. ábra. Kipreparált szegfű merisztéma-csúcs (egy pár levélkezdemény) pásztázó elektronmikroszkópos képen. Kb. 500-szoros nagyítás. (A szerző preparátuma, Nagy Barbara /SZIE/ felvétele)

Irodalom

- Horváth G. - Farkas A. - Kriska Gy. (2016): Poláros fényszennyezés és polarizációs ökológiai csapdák. pp. 215-368. In: A poláros fény környezetoptikai és biológiai vonatkozásai. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest
- Koelmans, A. - Hazimah Mohamed N. - Hermesen E. - Kooi M. - Svenja M.- Mintenig S. M. - De France J. (2019): Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. Water Research. Vol. 155: 410-422.
- Levitt, B. B. - Lai, H. C. - Manville, A. (2021): Effects of non-ionizing electromagnetic fields on flora and fauna, Part 2 impacts: how species interact with natural and man-made EMF. Reviews on Environmental Health. <https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0050>
- Liang, Y. - Rudik, I. - Zou, E. Y. - Kling, C. L. (2020): Conservation cobenefits from air pollution regulation: Evidence from birds. PNAS November 24.
- Sanders, D. - Frago, E. - Kehoe, R. - Patterson, Ch. (2021): A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night. Nature Ecology and Evolution 5(1):1-8.



Az elnökség: Ferencz Orsolya, Pajtkókné Tari Ilona, Dévai György, Szendrő Péter
 Dévai György Ferencz Orsolya





Heltai Miklós

Kerekes Sándor



Harangi Szabolcs

Gyulai Ferenc





Kertész Ádám

Tóth Endre Kristóf



Kordos László

T. Maros Katalin





Tardy János és a hallgatóság





Rögeszmecsere és büfé



Bizonyosságok és bizonytalanságok a tudományban III.

Társrendező

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem

A Konferenciasorozat szervezői

Prof. Dr. Dévai György, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály elnöke

Prof. Dr. Gyulai Ferenc, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály társelnöke

Dr. Tardy János, PhD, c. egyetemi tanár
az MTT üv. elnöke

A Konferencia fővédnöke

Dr. Réthelyi Miklós

az MTA doktora, az UNESCO Magyar Nemzeti Bizottság elnöke

2024. október 29.

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Líceum, Kápolna

(I. emelet, A.209. terem)

3300 Eger, Eszterházy tér 1.



PROGRAM

- 10:00 **Bevezető gondolatok, köszöntő**
Dr. Pajtókné Dr. habil. Tari Ilona, PhD, rektor (EKKE)
Dr. Tardy János, PhD, c. egyetemi tanár,
az MTT üv. elnöke

Előadások I.

- Levezető elnök: **Prof. Dr. Dévai György** az MTA doktora, ökológus, hidrobiológus, professor emeritus, az MTT Biológiai Szakosztály elnöke, a Ramsari Egyezmény Magyar Nemzeti Biz. elnöke (Debreceni Egyetem, TTK, Hidrobiológiai Tanszék)
- 10:15–10:30 **Prof. Dr. Kertész Ádám**, az MTA doktora, geográfus, professor emeritus, az MTT Észak-Magyarországi Területi Szervezetének elnöke (Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék – HUNREN Csillagászati és Földtudományi Kutató Központ)
„Elsivatagosodás – tények és kételyek.”
- 10:30–10:45 **Dr. Boros Emil** PhD, ökológus, tudományos főmunkatárs, osztályvezető (Ökológiai Kutatóközpont Vízi Ökológiai Intézet, Állatökológiai kutatócsoport)
*„Mi volt és mi maradt a lavór fenekén?!”
Bizonyosságok és bizonytalanságok vizes élőhelyeinket illetően.”*
- 10:45–11:00 **Pénzesné Dr. Kónya Erika**, PhD, biológus, egyetemi docens, tanszékvezető (Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Növénytani és Növényélettani Tanszék)
„A jövő zöld bizonytalansága: Terjedési anomáliák, biomassza arányok és genetikai változatosság kérdései a növényvilágban.”

- 11:00–11:15 **Dr. Murányi Dávid**, PhD, biológus, egyetemi docens, tanszékvezető (Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Biológiai Intézet, Állattani Tanszék)
„Miért változnak folyton a „kőbe vésett” állattani tudományos nevek?”
- 11:15–11:30 **Dr. Juhász Tibor**, PhD, matematikus, egyetemi docens, tudományos rektorhelyettes, az MTT Észak-Magyarországi Területi Szervezetének alelnöke (Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Alkalmazott Matematika Tanszék)
„(M)ennyire bízhatunk a matematikában?”
- 11:30–11:45 **Dr. Váczy Kálmán Zoltán**, PhD, mikrobiológus, tudományos főmunkatárs, általános rektorhelyettes, (Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Élelmiszertudományi és Borászati Tudásközpont)
„Dr. Jekyll és Mr. Hyde: a szőlő aszúsodása vagy szürkerothadása.”
- 11:45 – 12:15 Kérdések, hozzászólások és válaszok
- 12:15 – 12:45 Kávészünet

Előadások II.

- Levezető elnök: **Dr. Juhász Tibor**, PhD, matematikus, egyetemi docens, tudományos rektorhelyettes, az MTT Észak-Magyarországi Területi Szervezetének alelnöke (Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Alkalmazott Matematika Tanszék)
- 12:45–13:00 **Dr. Bernert Zsolt** antropológus, főigazgató (Magyar Természettudományi Múzeum)
„Bizonyosságok a magyarság őstörténetében – bizonytalanságok az interpretációban.”

- 13:00–13:15 **Dr. Török Zsolt Győző**, PhD, kartográfus, egyetemi docens, (ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet)
„Ez már az Újvilág? – Amerika körvonalai 16. századi térképeken.”
- 13:15–13:30 **Dr. Kőrösi Mária**, egyetemi docens (Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar)
„Földrajztanítás a geográfus gróf Teleki Pál szellemiségében. Bizonyosságok és bizonytalanságok a mai földrajztanítás nyomán és a közéletben.”
- 13:30–13:45 **Dr. Szalontai Lajos**, PhD, egyetemi docens, dékán helyettes, (Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Földrajz-Geoinformatika Intézet)
„A szállópor nyomában – hitelesített eszközök és low-cost szenzorok által mért adatok és modellek.”
- 13:45–14:00 **Dr. Benczik Izabella**, PhD, fizikus, egyetemi docens (Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Fizika Tanszék)
„A bizonytalanság tudománya: a káoszelmélet és megjelenése az életünkben”
- 14:00 Kérdések, hozzászólások és válaszok

Elsivatagosodás – tények és kételyek

Kertész Ádám

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem (EKKE) és

HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutató Központ

kertesza@helka.iif.hu

Bevezetés

Az elsivatagosodás fogalmát először egy francia gyarmatokon dolgozó erdész, Louis Lavauden használta 1927-ben. A szó azt sugallja, hogy a sivatagok kiterjednek és hogy a folyamatot az emberi társadalom tevékenysége okozza az erőirtás, túllegettetés és az arid térségek degradálódása által. A szerző szerint egyedül az emberi társadalom a felelős az elsivatagosodás kialakulásáért. A nomádok hozták létre a pseudo-sivatag zónát (Lavauden 1927). Az elsivatagosodás fogalma kezdetől fogva ideológiai és politikai előítéletekkel és félreértelmezésekkel volt töltve (Davis 2016). Napjaink elsivatagosodási koncepciójának eredete az afrikai gyarmatosítás időszakára nyúlik vissza. Az elsivatagosodási krízis hosszú ideje meglévő percepciója tehát nagy múltra tekint vissza és ma is tartja magát, annak ellenére, hogy a világ nagy részén ennek az ellenkezőjéről meggyőző bizonyítékok vannak (Davis 2016).

A XIX. századi gyarmatosítás korában, különös tekintettel a francia és angol afrikai gyarmatosításra, a sivatagok, arid területek és azok degradációja mind a tudományos kutatás, mind pedig a döntéshozatal vonatkozásában központi kérdésnek számítottak. Azt gondolták, hogy az elsivatagosodásért a helyi lakosság a felelős. Az elsivatagosodás mai értelmezése is erre az időszakra vezethető vissza és éppen ezért újra gondolást igényel (Davis 2016).

A sivatagok többsége Goudie (1996) szerint ma is ott van, ahol 65 millió évvel ezelőtt volt, csupán a kiterjedésük változott a globális éghajlati viszonyoknak megfelelően. Az antik görög történeti és földrajzi források szerint is a sivatagok abban az időben is mai helyüket foglalták el. Az ókor és a középkor felfogása szerint a sivatagok nem tönkretett térségek és nem is arra valók, hogy ott növénytermesztést folytassunk. A sivatagok természetes okok miatt keletkezett száraz, pontosabban hiperarid területek, amelyeken nehéz átkelni (Davis 2016). Az új világ felfedezésével kezdődött az az időszak, amikor a sivatagokról és az elsivatagosodásról másként kezdtünk gondolkodni – amint fentebb is említettük.

Globális változások és az elsivatagosodás

Elsőként a népesség növekedést kell megemlítenünk, ugyanis az elsivatagosodás mint antropogén folyamat elsődleges oka a Föld népességégének ugrásszerű növekedése a közelmúltban: az 1850-re becsült 1 milliárdról az 1990-es évek 6 milliárdján át napjaink 8,2 milliárdjára.

A Worldometer (2025) 2050-re 9,7 milliárdot jósol. Ugyanakkor a növekedés üteme lassul. Jelenleg 0,85 % a növekedési ütem és ez 70 millió fő növekedést jelent évente. Köztudott, hogy a folyamatosan növekvő népességnek egyre több élelemre, vízre, energiára stb. van szüksége, ezért egyre több területet kell a művelésbe bevonni, illetve a már művelés alatt álló területeken növelni kell a művelés intenzitását. Új területek pedig általában kétféle módon keletkezhetnek használatba venni: vagy feltörjük a legrosszabb adottságú területeket, amelyeket pont ezért nem műveltek eddig, vagy pedig megváltoztatjuk a földhasználatot, tehát például kivágjuk az erdőt. A városi népesség növekedésének nyilvánvaló velejárója, hogy növeljük a „betapasztott” területeket, tehát ismét csak megváltoztatjuk a földhasználatot és például mezőgazdasági területeket vonunk ki a művelésből. A kedvezőtlen adottságú területek művelésbe vonása pedig a táj degradáció, ezen belül az elsivatagosodás veszélyének fokozódásával jár (Kertész 2023).

A klímaváltozás mint globális folyamat felgyorsítja az elsivatagosodást. A Föld története során a klíma természetes okok miatt is folyamatosan változott. Ma e változások megléte mellett az antropogén eredetű éghajlatváltozás rendkívül jelentős, amely az üvegház gázok légköri koncentrációjának növekedésében manifesztálódik (növekvő energia használat, földhasználat változás stb.). Elég arra utalni, hogy a hőmérsékletnövekedés és a csapadék csökkenés általában azokat a területeket érinti, amelyeket most és korábban is sújtott az aridifikáció. A hó és jég borította területek csökkenésének következményei is jól ismertek.

Az elsivatagosodás szempontjából döntő jelentőségű a földhasználat változása, amely a népesség ugrásszerű növekedésével szoros kapcsolatban áll. A földhasználat változása a Föld öko-rendszerét átalakítja, megváltoztatja az ökoszisztémák szerkezetét és működését, továbbá az ökoszisztémák és az atmoszféra, hidroszféra és a litoszféra interakcióját (Vitousek, et al. 1997).

A földhasználat változásának folyamatai egyrészt felgyorsítják, másrészt mértékében és kiterjedésében növelik az elsivatagosodást és általában tájdegradációt. Az elsivatagosodás a fejlett világban is jelen van, a fejlődő világ mégis sokkal nagyobb mértékben érintett. Ennek a különbségnek nemcsak társadalmi, táj menedzsmentben megnyilvánuló okai vannak, hanem természeti okai is (kedvezőtlen, gyakran közel toxikus talaj adottságok, földcsuszamlások, árkos erózió, szélsőséges éghajlati viszonyok, szárazság, gyakori és nagy volumenű árvizek, feliszapolódás stb.). A legkárosabb változási folyamat az erdőirtás, amely

számos negatív következménnyel jár: a kiirtott erdő területén menő a talajerózió kockázata, felgyorsul a lefolyás, amely fokozza az árvízveszélyt, a terület kiszárad és így megnő az elsivatagosodás veszélye is, megszűnik a kedvező erdőklíma, megnő az üvegház gázok aránya a légkörben stb.

A legfontosabb globális folyamatok rövid értékelése után végül megjegyezzük, hogy e folyamatok egymással szoros kapcsolatban állnak.

Az elsivatagosodás folyamata

A „United Nations Intergovernmental Convention to Combat Desertification” (Az Egyesült Nemzetek Elsivatagosodás Leküzdésével Foglalkozó Kormányközi Bizottsága) definíciója szerint (UNCOD, 1977) „az elsivatagosodás az arid, szemi-arid és szubhumid területek különböző tényezők hatására bekövetkező tájdegradációs folyamatait foglalja össze, beleértve a klímaváltozás és az emberi tevékenység hatásait is”.

Az arid, szemi-arid és szubhumid térségek definíciója a FAO/UNESCO bioklimatikus indexen alapul, amely nem más, mint a csapadék és a potenciális evapotranspiráció aránya (P/ETP). Eszerint:

- arid övezet: $0,03 < P/ETP < 0,20$
- szemi-arid övezet: $0,20 < P/ETP < 0,50$
- szubhumid övezet: $0,50 < P/ETP < 0,75$

A Föld legszárazabb részei, a hyperarid területek értelemszerűen nem tartoznak ide, hiszen azok már sivatagok (1. kép).

Az elsivatagosodás által érintett terület Földünk 40%-a, ahol a népesség 1/5-e él! Az elsivatagosodás folyamatai hazánkat is érintik, ezért az egyezményt Magyarország is aláírta. A legexponáltabb terület a Duna – Tisza köze.

Az elsivatagosodás fő okát a természetes növényzet ember általi kiirtásában kell látnunk. Ez nem csupán az erdőre vonatkozik, hanem a bozót-cserje, gyom és fű vegetációra is. A növénytakaró kiirtása, megszűnése tulajdonképpen a talajközeli légréteg klímájának megváltozását, aridifikációt eredményez. Ennek következtében megkeményedik, kergesedik a talajfelszín, ezáltal csökken a beszivárgás.

A kergesedés és növényzetmentesség nem csak a vízerózió romboló hatását fokozza, de a szélérozióét is. Ettől a talaj felső, humuszos és tápanyagban gazdag rétegei eltávoznak és így a természetes növényzet visszatelepülésének lehetősége, valamint a mezőgazdasági használat esélye (a táj potenciálja) csökken, illetve lehetetlenné válik. A növényzet regenerálódásának lehetősége annál kisebb, minél változékonyabb a klíma, különös tekintettel a szélsőséges eseményekre, ezen belül is a nedvesség viszonyok szélsőséges változására (hosszú aszályos periódusok, katasztrófális méretű záporok).



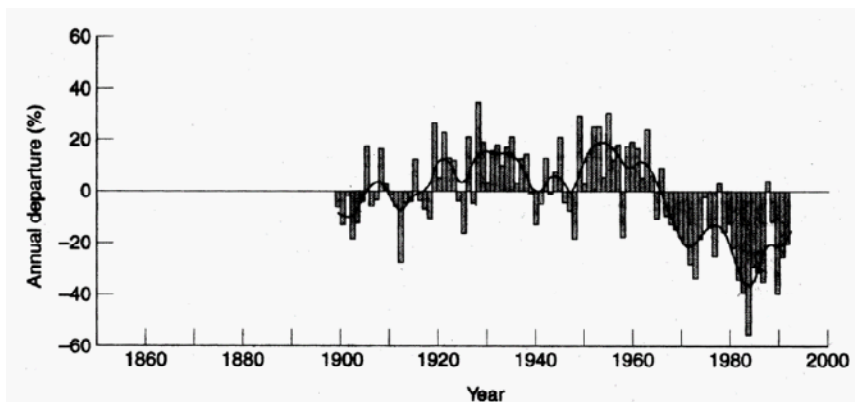
1.kép A Tabernas sivatag (valójában félsivatag) Délkelet Spanyolországban. Légifelvétel Almeria repülőtere felett (a szerző felvétele).

Az elsivatagosodás mértéke a kiindulási nedvességállapottól és az emberi beavatkozásoktól – itt most elsősorban a pozitív beavatkozásokra gondolunk – is függ. A folyamat eredménye és lefolyása nem szorul magyarázatra: a kiindulási állapotból – szubhumid, szemiarid vagy arid viszonyokról lehet szó – az egyes fokozatok végigjárásával – tehát ha pl. szubhumid volt a terület, akkor előbb szemiarid, majd arid lesz –, a fokozódó szárazodás – aridifikáció – következtében a terület végül is hyperariddá válik. A vegetáció szempontjából nézve tehát a pusztából szavanna, tüskés szavanna, félsivatag és végül sivatag lesz.

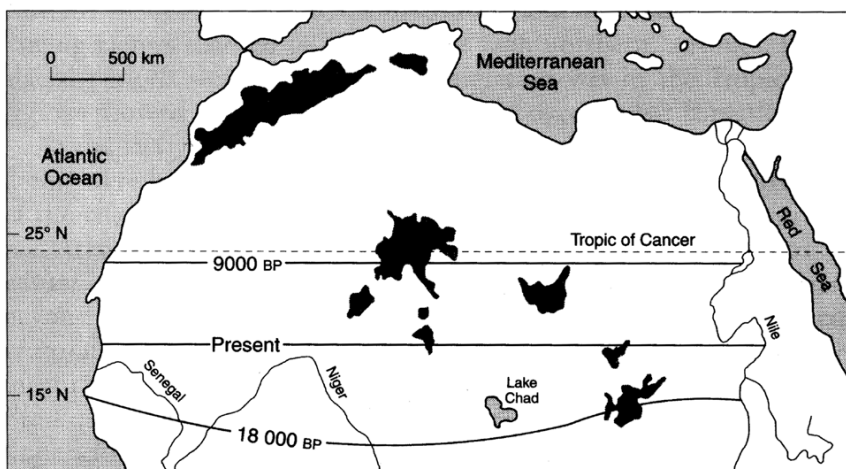
Az elsivatagosodás számos káros következménye között említendő a földfelszín albedo kedvezőtlen változása, a biodiverzitás és a szén szekvesztráció csökkenése. A biológiai sokféleség csökkenése egyben az arid térségek ökoszisztéma szolgáltatásait is kedvezőtlenül befolyásolja. Az elsivatagosodás a talajvesztesség és növényzet veszteség által a globális klímaváltozásra is hatást gyakorol.

A Száhel övezet

A Földön a legveszélyeztetettebb terület a Száhel övezet, amely a Szaharától D-re húzódik. Az alábbi, 1. ábra a múlt század végi súlyos száraz periódust mutatja. Különösen válságos volt a helyzet 1983-85 között. Ekkor nagy léptékű éhínség is sújtotta a területet.



1. ábra. A Száhel-övezet csapadékindexe 1900-1993 között, az 1951-1980 időszakra számított átlagtól való eltérés %-ában megadva (Hulme 1996 nyomán).



2. ábra. A Szahara-Száhel határ változása (Goudie, 1996)

A 2. ábra a Száhel-Szahara közötti határ változását mutatja a földtörténeti közelmúltban. A Száhel övezet aszályosságáért és elsivatagosodásáért a primitív legeltetési módot, a túllegeltetést, a túlművelést, a fás fajok gyökerestől történő kivágását, fűrólyukak lemélyítését és az oltási kampányokat teszi felelőssé Le Houérou (1977). Az UNCOD (1977) ehhez az öntözött szántók rossz menedzsmentjét is hozzáteszi, mint kiváltó okot.

Vitatott kérdés az is, hogy a Száhel övezet elsivatagosodása szárazföldi kiváltó tényezőkre vezethető vissza. Amint említettük, a szárazodás kialakulása egy folyamat, amely a növényzet kiirtásával kezdődik, amelyet a hagyományos

mezőgazdaság következtében fokozódó erózió kialakulása követ, megnő a földfelszín fény visszaverő képessége és így a regionális klíma szárazabbá válik. Egyes klimatológusok szerint a Száhel aszályossága még csak nem is szárazföldi okok következtében jött létre, hanem azt a tengerfelszín hőmérsékleti változásai okozzák, tehát a szárazodásért nem a terület lakóinak tevékenysége a felelős (Giannini, 2016.). A Száhel övezet szárazodása tehát összetett kérdés, amellyel kapcsolatban azt kell kiemelni, hogy a térség tájainak és társadalmának fejlődését együtt, komplex módon kell vizsgálni (Behnke - Mortimore 2016).

Elsivatagosodás Magyarországon

Az aridifikáció, illetve az elsivatagosodás kérdését vizsgáltuk a MEDALUS (MEDiterranean Desertification And Land USE) EU Keretprogram projekt két szakaszában (EU FW IV:1994-1996 és EU FW IV:1996-1999) a mediterrán térségben és Magyarországon. A projektben minden dél-európai ország, Belgium, az Egyesült Királyság, Franciaország és Magyarország vett részt. A magyar partner az MTA Földrajztudományi Kutató Intézete volt. A szárazodás kérdéséhez kapcsolódó magyarországi mintaterület a Duna-Tisza köze volt. A Duna-Tisza köze bioklimatikus index (P/PET) értékei (0.555 – 0.647) megközelítik a felszáraz (szemi-arid) határértéket és aszályos időszakok szinte évente előfordulnak. A mintaterületen az aridifikáció hatását vizsgáltuk a talajtulajdonságok, a növényzet és a vízháztartás tekintetében. Különös figyelmet szenteltünk a vízháztartás alakulásának. Mint ismeretes, a Duna-Tisza között a folyamatok irányítója a talajvízszint változások alakulása. A projekt eredményei szerint a vizsgált időszakban egy hőmérséklet emelkedési és egy csapadék csökkenési trend volt igazolható. A szárazodás folyamata detektálható volt a talajviszonyok és a növényzet változásában. A talajvízszint alakulását folyamatosan regisztráltuk a szóban forgó időszakban (Kertész 2000) és kísérletet tettünk a jövőben várható változások előre jelzésére. A talajnedvesség dinamikáját talajszelvények alapján jellemeztük, elemeztük a talajvízszint változásoknak a talajban végmenő folyamatokra gyakorolt hatását. A természetes növényzet tekintetében értékeltük a fajösszetétel alakulását a Duna-Tisza közti mintaterületen. A fő következtetések szerint (1) egy jól igazolható szárazodási tendencia azonosítható a vizsgált területen, (2) az aridifikációs folyamatok jól követhetők a környezeti tényezők változásában, (3) az elmúlt két évtized földhasználati változásai nincsenek bizonyítható kapcsolatban az aridifikáció folyamatával.

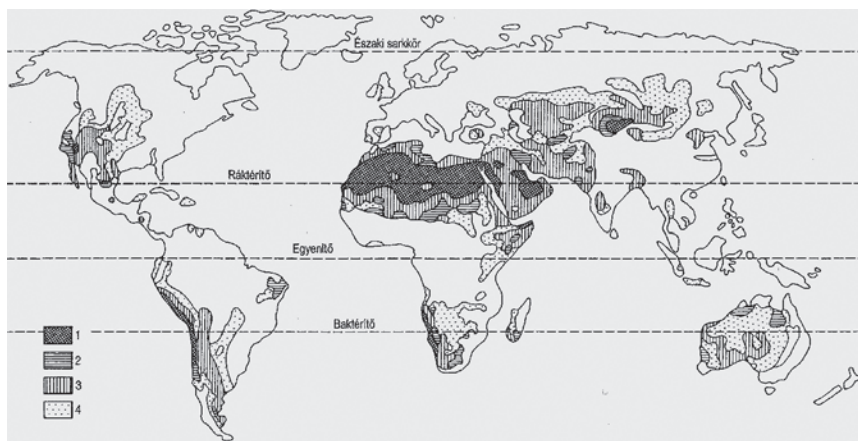
Kételyek

Az elsivatagosodással kapcsolatban nagyon sok bizonyító erejű tényt lehetne felsorolni. Hol vannak akkor a kételyek?

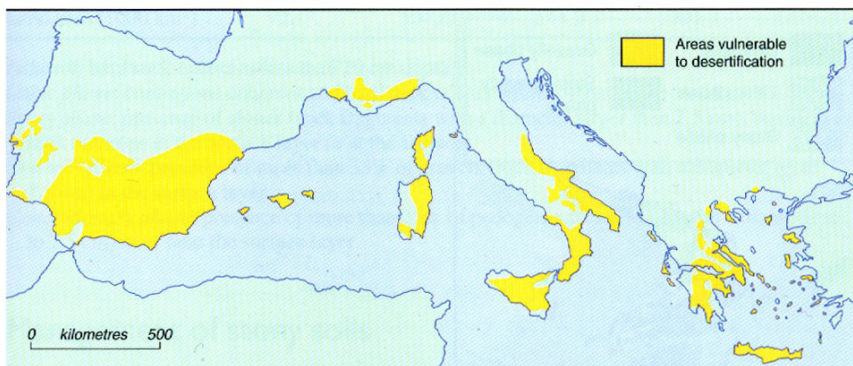
Az elsivatagosodás egy folyamatra utal, amelynek végső stádiuma a sivatag kialakulása. Ebből nem következik, hogy az érintett területeken sivatag lesz. A történelmi idők során, azon belül az elmúlt néhány száz évben is számos aszályos időszakot ismerünk, amelyet nedvesebb időszak követett. Így történt ez a múlt század végi aszályos időszak után is (l. alább).

Nem jó kifejezés az elsivatagosodás, de miután az UNCCD által adott definíció annyira beágyazódott a tudományos és a politikai köztudatba, hogy meg fog maradni. Ugyanakkor tudatosítani kell, hogy ez egy laza fogalom, amelyet széles skálán és tágabb értelemben kell alkalmazni. A 3. ábra az elsivatagosodás kockázatát mutatja a Földön.

Fontos megemlíteni, hogy a Mediterrán térségnek csak a legdélibb szegélye tekinthető sérülékenynek az elsivatagosodás szempontjából (4. ábra).



3. ábra. Az elsivatagosodás kockázata a Földön (Myers, 1993).



4. ábra Az elsivatagosodás szempontjából érzékeny területek a Mediterraneumban. (Mairota et al. 1997)

A közelmúlt aridifikációjával, illetve aszályosságával kapcsolatban fontos megemlíteni, hogy a kételkedést megalapozza az a tény is, hogy az egész világon, így hazánkban is voltak a történelmi időkben olyan szélsőségesen száraz időszakok, amelyek minden bizonnyal természetes okokra vezethetők vissza. Példaként megemlítettünk néhány hazai eseményt, Pálfai (2004) összefoglaló tanulmánya alapján. Az elmúlt évezredben korábban bekövetkezett aszályoknak rendkívül súlyos következményei voltak, hiszen a kezdetleges, alacsony színvonalú mezőgazdaság körülményei között számottevő termés csökkenést okozott az aszály, tartalékok nem álltak rendelkezésre és így éhínség és éhhalál követte a rendkívüli aszályokat, amely mind a lakosságot, mind pedig az állatállományt érintette. Az aszályhoz kapcsolódóan gyakran járványok is kitörték.

Az elmúlt évezred aszályos időszakaiból csak egy néhányat idézünk. Már 1015-ből is tudunk aszályos évről. A következő évszázadokból egyebek között figyelemre méltó az 1650-1661-es évek 10 éves aszályos periódusa. Európai példa 1303-1304-ből a Rajna, a Loire és a Duna kiszáradása. 1393-ban és 1474-ben a magyarországi Duna meder száradt ki. 1718-ban egy évig szinte nem volt eső. Ekkor Erdélyben pestisjárvány követte az aszályt. Külön kiemelendő az 1794. év rendkívüli és súlyos következményekkel járó aszálya. 1779-től minden második év aszályos volt, amelyhez a csapadékhiányon kívül 40°C maximum hőmérséklet is társult. Az 1834-es aszályt Széchenyi is említi. 1861, 1862 és 1863 aszályos éveit egy nedves periódus követte. Az 1863. évi aszály különösen súlyos volt. A XIX. században 26 aszályos év fordult elő. 1930 és 2000 között 33 olyan év volt, ami aszályosnak mondható. A 20. századból néhány kiragadott példa: igen súlyos aszályok voltak az 1903, 1935, 1952 (ezt 1953-ban élelmiszerhiány is követte), 1990, 1992, 1993-as években. A 90-es évek rendkívüli szárazságát a Száhel övezettel kapcsolatban is említettük. Az aszályosság tendenciája a XXI. században fokozódik: 2000, 2003, 2011, 2012, 2015, 2022, 2023, 2024 valamilyen aszályos évek voltak. Természetesen az elmúlt néhány évtizedben említett aszályos évek vélhetően már kapcsolatban vannak a globális klímaváltozás hatásával és az elsivatagosodás felé mutatnak.

Konklúzió

A fentiekben rámutattunk az elsivatagosodással kapcsolatos néhány fontos tényre, de az elemzés korántsem teljes körű. A szárazodás kétségtelen tény, fontos azonban az elsivatagosodás fogalmának olyan szemléletű értelmezése, amely nem csak a jelenség negatív, katasztrófa irányába mutató oldalát hangsúlyozza, hanem azt is, hogy ez egy komplex probléma, amelynek társadalmi-gazdasági és intézkedési, policy making vonatkozásai is vannak.

Az elsivatagosodás leküzdésére többféle módszer, próbálkozás ismeretes. Érdekes példaként Alan Savory tevékenységét említjük. Szerinte egy holisztikus, egységesen menedzselte legeltetés meg tudja állítani az elsivatagosodást és a szén háztartás szempontjából is kedvező (Savory – Butterfield 1999). A szerzők szerint a legeltető állattenyésztés során a nomád, tehát mindig tovább vándorló pásztorokodást kell utánozni, így a felhagyott legelőn a növényzet képes lesz regenerálódni. A tudósok szerint a terv szerinti legeltetés biomasszára gyakorolt hatása nem különbözik folyamatos legeltetésétől, kivéve, ha csapadékosabb területen alkalmazzák azt. Az bizonyos, hogy a legeltetett területek víz visszatartása, vízkészlete jobb, mint a nem legeltetett területeké. Ugyanakkor számos tudós állítja ennek az ellenkezőjét. Eszerint ha egyáltalán nincs legeltetés a szemiárid füves pusztán, akkor a növényzet regenerációjának folyamata és a szén szekvesztráció kedvezőbben alakul (Fernandez et. al. 2008). Sok tehát a nyitott kérdés.

A 2. képen azt látjuk, hogy egy Délkelet-Spanyolországi kopár, korábban növényzetmentes lejtőn mesterséges teraszok kialakítása után egy eredményes újra erdősítési kísérletet hajtottak végre.



2. kép. Újra erdősítés (*Pinus halepensis*) teraszozott lejtőkön, Murcia közelében (Mairota et al. 1997).

Rendkívül súlyos következményekkel jár a globális környezeti változások gyorsuló üteme, különös tekintettel a klímaváltozásra, tehát a hőmérsékletemelkedésre és a csapadék csökkenésére leginkább azokon a területeken, amelyek egyébként is a rendkívül szárazok, vízhiánnyal és magas hőmérsékleti értékekkel küzdenek. A leginkább veszélyeztetett területek a Föld legszegényebb térsé-

gei, amelyeket a fenntarthatóságot veszélyeztető ökológiai, társadalmi és gazdasági problémák sújtják, amelyek az elsivatagosodáshoz kapcsolódnak.

Mindazonáltal még nincs konszenzus az elsivatagosodás meghatározásával kapcsolatban, még akkor sem, ha a klíma krízis és az aszályok gyakoriságának növekedése folyamatosan jelen van.

Irodalom

Behnke, R. H. – Mortimore, M. (eds.) (2016) Introduction. The end of desertification? In: Behnke, R. H. – Mortimore, M. (eds.). The end of desertification? Disputing environmental change in the drylands. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, pp. 1-36.

Davis, D. K. (2016) Deserts and drylands before the age of desertification. In: Behnke, R. H. – Mortimore, M. (eds.). The end of desertification? Disputing environmental change in the drylands. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, pp. 203-223.

Fernandez, D. P. – Neff, J. C. – Reynolds, R. L. (2008) Biogeochemical and ecological impacts of livestock grazing in semi-arid south eastern Utah, USA. *Journal of Arid Environments*, 72 (5) pp. 777-791.

Giannini, A. (2016) Years of climate modelling: The causes of late-20th Century Drought in the Sahel. In: Behnke, R. H. – Mortimore, M. (eds.). The end of desertification? Disputing environmental change in the drylands. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, pp. 265-292.

Goudie, A.S. (1996) The geomorphology of the seasonal tropics. In: Adams, W.M. – Goudie, A.S. – Orme, A.R. (eds). The Physical Geography of Africa. Oxford: Oxford University Press, pp. 148-60.

Hulme, M. (1996) Climate change within the period of meteorological records. In: Adams, W.M. – Goudie, A.S. – Orme, A.R. (eds). The Physical Geography of Africa, Oxford: Oxford University Press, pp. 88-102.

Kertész, Á. (2000) Land degradation as a consequence of aridification on the northern border of the Mediterranean. In: Balabanis, P. – Peter, D. – Ghazi, A. – Tsogas, M. (eds.). Mediterranean Desertification, Research Results and policy implications: Proceedings of the International Conference 29 October to 1 November 1996: Brussels, Office for Official Publications of the European Communities. pp. 129-139.

Kertész, Á. (2023) Földhasználat-változás és környezetváltozás. In: Lakatos, L. (szerk.) Tanulmánykötet Prof. Dr. Mika János születésének 70. évfordulója alkalmából. Eger: Eszterházy Károly Katolikus Egyetem pp. 187-203.

Lavauden, L. (1927) Les Forêts du Sahara. *Revue des Eaux et Forêts*. 65(6), pp. 265–277, 329–341.

Le Houérou, H. N. (1977) The nature and causes of desertization. In: Glantz, M. (ed) Desertification: environmental degradation in and around arid lands. Boulder, CO.: Westview Press, pp17-38.

- Mairota, P., Thornes, J.B., Geeson, N.A. (1997) Atlas of Mediterranean Desertification. 1st Edition). Hoboken, Wiley. 224 p.
- Myers, N. (ed) (1993) The Gaia Atlas of Planet Management, 2nd edn. Gaia Books. London. 304 p.
- Pálfai, I. (2004). Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok. Budapest, KÖZDOK, 492 p.
- Savory, A. – Butterfield, J. (1999) Holistic management: A new framework for decision making. Covelo, CA, Island Press. 644 p.
- UNCOD (1977) Proceedings of the Desertification Conference. Nairobi: UNEP, and New York: Pergamon Press. p. 448.
- Vitousek, P. M. – Mooney, H. A., Lubchenco, J. – Melillo, J. M. (1997. Human Domination of Earth's ecosystems. Science 277. 494-500.
- Worldometer (2025) World population clock. <https://www.worldometers.info/world-population/>

Mi volt és mi maradt a lavór fenekén?!

Bizonyosságok és bizonytalanságok vizes élőhelyeinket illetően

Boros Emil

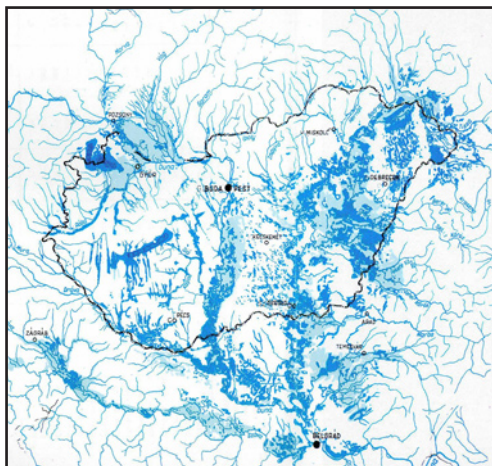
HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont, Vízi Ökológiai Intézet

drborose@gmail.com

Sok bizonytalanság és félreértés adódik abból, hogy összekeverjük a valódi tavak és vizes élőhelyek fogalmát illetve működését, pedig ennek nagy jelentősége van hazánkban. A vizes élőhelyek szemi-akvatikus rendszerek a szárazföldi (terresztris) és a vízi (akvatikus) ökoszisztémák között foglalnak helyet, melyek jelentősége és területi kiterjedése Magyarországon is különös jelentőségű. Vizes (szemiakvatikus) élőhelyeknek tekintjük azokat a természeti egységeket, amelyeknek felületarányos átlagos vízmélysége – középvízállás esetén – a két métert nem haladja meg, az ennél mélyebb víztereknek pedig azokat a részeit, amelyeknek legalább egyharmadát makrovegetáció (hínár- és/vagy mocsári és/vagy szegélynövényzet) borítja vagy kíséri. Továbbá azokat a természeti egységeket, ahol olyan hidromorf talajok találhatók, amelyeknek felső rétege tartósan vagy legalább hosszabb időtartamig vízzel átitatott, s ezért jellegzetes, többnyire nagy vízigényű vagy jó víztűrő növényállományokkal (nádasokkal, magassásosokkal, láp- és mocsárrétekkel, mocsári gyomtársulásokkal, iszap- és zátonynövényzettel, nedves és vakszikesekkel, láp- és mocsárerdőkkel, bokor-füzesekkel, puha- és keményfa-ligeterdőkkel, égerligetekkel), ill. azok jól felismerhető maradványaival jellemezhetők (Dévai, 1998).

A „tó kontra vizes élőhely” kérdésében bizonyosságok is vannak hazánkat érintően. Bizonyosság, hogy a vízrendezések előtt Magyarországnak kb. 45%-a volt időszakos és állandó, folyó és állóvizekkel érintett terület. Az ármentesítés következményeként az árterek 95%-át veszítettük el, melyek a vízrendezéssel érintett területekkel együtt napjainkban mezőgazdasági használat alatt álló ún. kultúrtáj. A hajdani vízi és vizes élőhelyek hálózatát mutatja be az 1. ábra a folyószabályozások és a vízrendezések előtti állapotban, amit gyakran „pocsolyatérképnek” is emlegetnek.

A Kárpát-medence hidrogeológiai szempontból egy olyan zárt jellegű üledékes medence, ahol a felszín alatti gravitációs áramlási rendszereknek nagy jelentősége van, és részben ezek hatására itt különleges vizes élőhelyek is kialakultak, melyek jelentős mértékben felszín alatti vizektől függő ökoszisztémák. Ezen unikális ökoszisztémák kis számban fennmaradt képviselői kiemelt jelentőségű élőhelyeket képeznek a hazai védett területek hálózatban, így a felszín alatti vízkörforgástól (hidrológiai ciklusok) függő különleges hidrológiai rendszerek (szikes tavak, lá-



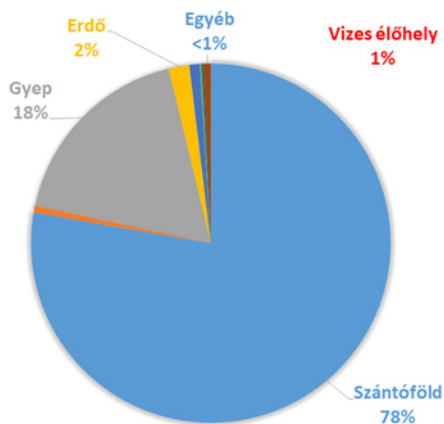
1. ábra A Kárpát-medence vízrajza a vízrendezések előtt és után. Forrás: Magyar Királyi Földművelésügyi Minisztérium Vízrajzi Intézet (1856)

pok, barlangok, források, víznyelők) a Természetvédelmi Törvény (1996. évi LIII. Tv.) által „ex lege” (a törvény erejénél fogva) védett természeti területek hazánkban. A szikes vizek nagyléptékű eltűnésének voltunk tanúi a múlt század közepétől kezdődően, amely mintegy 85%-os élőhelyvesztést jelentett a régióban, és ez

a folyamat sajnos még nem állt meg. Ezzel egyidejűleg a vizes élőhelyek beszűkülése 70%-ra becsülhető a régióban (Boros és mtsai. szerk., 2013).

A mezőgazdasági területeken gyakori probléma az úgynevezett belvíz ami nem más, mint a lecsapolt korábbi vizes élőhelyek medreiben felgyülemelő csapadékvíz. Elméleti szinten említtem meg, hogy a vizes élőhely hálózat átlag 5 cm-es vízborításának térfogata nagyságrendileg megegyezik az ország évi 2 km³ vízfelhasználással, ami a Balaton jelenlegi medrének maximális víztérfogata, tehát maximálisan ennyi vizet kéne rendszeresen visszafótolni ahhoz, hogy a vizes élőhely hálózat megfelelően működjön. Ezeknek a belvizes területeknek jelenleg a 78%-a szántóföldi művelés alatt áll, viszont ezek a víznyomásos területek gyakran nem, vagy csak korlátozottan művelhetők gazdaságosan (2. ábra). Ezért ezeken a területeken a vízmegőrzés céljából minél nagyobb arányban lenne szükség az eredeti a vizes élőhelyek helyreállítására, amihez a művelési ág megváltoztatására is szükség van. Ugyanakkor a művelésváltás nem jelenti ezen területek teljes felhagyását, mert a vízmegőrzéssel összeegyeztethető gazdálkodás továbbra is végezhető lenne ezeken a helyreállított vizes élőhelyeken, például legelő, kaszáló, nádas, erdő, vagy vízállás művelési ágaknak megfelelően.

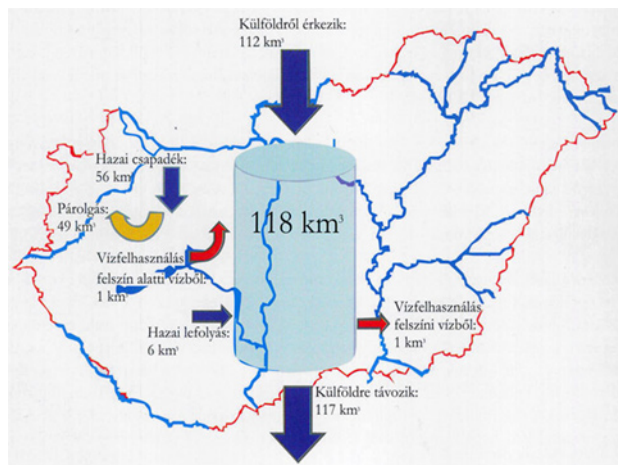
Hazánk felszíni vízkészlete mennyiségi és minőségi vonatkozásban is igen kitett helyzetben van, ami behatárolja a vizektől függő ökoszisztémák helyzetét, de jelentős nemzetgazdasági és társadalmi kérdéseket is felvet, különösen a klímaváltozás egyre jobban érzékelhető negatív hatásainak tükrében. A nemzeti vízstratégia adatai szerint (2017) a medencébe befolyó vizek 95%-a külföldről jön, de ennek a nagy része ki is megy az országból a vízfolyásokon keresztül. A bevételi oldalon jelentkező befolyó víz és csapadék, illetve a kiadási oldalon a



2. ábra A belvízzel borított területek felszínborítás (Corine) szerinti megoszlása Magyarországon

kifolyó víz és a belső vízfelhasználás éves mérlege köbkilométerben kifejezve a közölt becslések szerint egyensúlyban van (3. ábra), mégis azt látjuk, hogy egyre kevesebb a felszíni víz az országban, sőt a talajvízszint is egyre jobban süllyed az egész Alföldön (6. ábra).

Hogyan lehetséges ez? A csapadék a befolyó vízkészletnek a fele, de ez nagyon szeszélyes eloszlású és ami nagyon lényeges, hogy egyre kevesebb hó esik, ami a talaj vízkészletének visszapótlását szolgálna a beszivárgással, valamint csökken a felszíni vizek jégborításának mértéke és időtartama, ami



3. ábra Magyarország vízmérlege. Forrás: Nemzeti vízstratégia (2017)

viszont fokozza a párolgási veszteséget. A tavasztól őszig (vegetációs időszak) lehulló csapadék nem tud beszivárogni a talajba, mert elpárolog, illetve a növények elpárologtatják. Ugyanakkor a klimatikus kérdések mellett riasztó adat, hogy a teljes vízfelhasználásunk közel fele a felszín alatti vízkészletekből származik, valamint a felszíni vízkészletek szűkülésével fokozódik az igény a felszín alatti vízkészletek kihasználására. A folyók vízjárása is változásokat mutat és a medermélyülés is folyamatos. Összességében a különféle hatások eredője az,

hogy egyszerre van jelen árvíz, belvíz, aszály a térségben, és ezek a problémák a természeti és a társadalomföldrajzi adottságok, illetve folyamatok komplex eredője, tehát nem kizárólag a klímaváltozás felelős a problémákért, hanem mi is! A vizek mennyiségi kérdései mellett azt is meg kell említeni, hogy a felszíni és a felszínközeli víztestekből kevés számú jó ökológiai állapotúnak.

A szikesek az EU-direktívákban kiemelt prioritást élveznek, illetve a Ramsari területek hálózatában is előkelő helyet foglalnak el. A 29 hazai Ramsari-területből kilenc tartalmaz szikes ökoszisztémákat (szikes vizes élőhelyeket). Mivel a Kárpát-medence és ezen belül Magyarország a szikesek előfordulási helyének európai súlypontja, így például a Fertő Európa legnagyobb szikes víztere, tehát ezeket a különleges ökoszisztémákat csak itt lehet megőrizni és helyreállítani az európai kontinensen! Így tulajdonképpen mondhatjuk, hogy szikes nagyhatalom vagyunk Európában (https://mta.hu/tudomany_hirei/tudta-hogy-magyarorszag-igazi-szikesto-nagyhatalom-109337). Ez egyrészt öröndetes, de ugyanakkor nagy felelősség és kihívás is a megőrzésük.

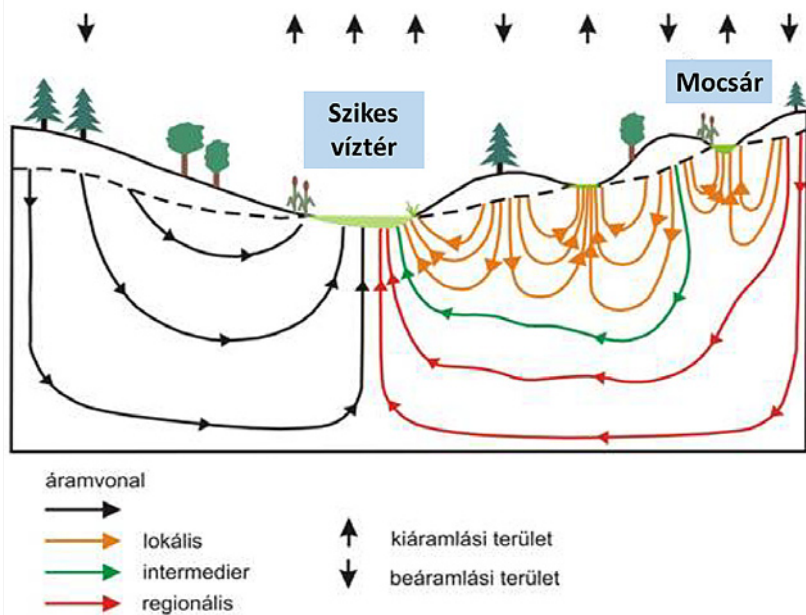
A szikes ökoszisztémák globálisan korlátozott elterjedési területű, különleges és nagyon változatos élőhelyek. Az életközösségüket gyakran magas biodiverzitás jellemzi, bennszülött fajok kapcsolódnak hozzá, és természetesen ezek különösen veszélyeztetettek, mint ahogy világszerte a vizes élőhelyek. A Fertő (osztrák névén: Neusiedler See) állapotváltozásai, mint a legnagyobb európai szikes víztér esettanulmányként szolgál a szikesekre nézve. A XIX. században még döntően nyílt víztér volt, majd a XX. század első felében, viszont amikor a Hanság lecsapolása történt, a Hansági-főcsatornán keresztül a Fertő vizét is szabályozták. Az 1950-es évekre a mocsárinövényzet, elsősorban a nád (*Phragmites australis*) rohamos előretörése ment végbe, mert a lecsökkent vízszint miatt az elmocsarasodás irányába kezdett átalakulni a víztest. Ezt próbálták később ellensúlyozni, ezért a XX. század közepén vízszintemelítés történt, és a 1960-as évek óta gyakorlatilag egy vízszintstabilizálási törekvés jellemző a tó szabályozásában. Ennek ellenére a nádas kiterjedése azóta is lassan, de folyamatosan változik és tovább fogy a Fertő nyílt vize, így részben a szabályozásnak is köszönhetően a Fertő nem igazi tó, hanem vizes élőhely. A Fertő hosszútávú megőrzése és lehetséges mértékű rehabilitációjához egyrészt tisztázni szükséges a víztest vízforgalmát (mérlegét) befolyásoló tényezőket (pl. a nádas öv párologtatása, a felszín alatti vizek szerepe, hidrológiai kapcsolat a Hansággal), másrészt meg kell gátolni a nádas további térhódítását. Mivel a Fertő a vízrendezések előtt összefüggő vízteret alkotott a Hansággal (4. ábra), ezért ezek helyreállításának lehetőségét egymással összefüggésben kell megvizsgálni (Boros és Vörös, 2024). A Fertőhöz hasonló jellegű és sorsú szikes víztér a Velencei-tó, amely szintén jelentős szabályozáson ment keresztül, de kezelésére és helyreállítására a Fertőre vonatkozó irányelvek a meghatározóak.



4. ábra A Fertő Európa legnagyobb szikes víztere és a Hanság lápvidéke 1788-ban. Forrás: Hegedűs 1788, Országos Széchényi Könyvtár, TK 1614.

A problémák alapján látható, hogy még sok bizonytalanság van a regionális hidrológia ciklus felszíni és felszín alatti működését illetően, pedig a felszíni vizek a víz körforgásának csak az egyik felét jelentik, úgy is mondhatnánk hogy a „jéghegy csúcsa”. Az állóvizeink vízforgalmában általában teljesen elhanyagoljuk a vízkörforgás felszín alatti ágát, ami sok félreértéshez vezet, pedig a tavak és vizes élőhelyek fenntartható helyreállítása és kezelése csak a hidrogeológiai (vízföldtani) kialakulásuk és ökológiai működésük komplex megértésével lehetséges. Tudjuk, hogy a folyóknak, a tavaknak, a tengereknek meg a felhőknek nagy jelentősége van a vízforgalomban, de keveset gondolunk arra, hogy a felszín alatti vizek ugyanúgy részt vesznek ebben a ciklusban, melyek együtt alkotják a vizek körforgását. Tóth József neves hidrogeológus professzor már az 1960-as években megalkotta azt a jelentős hidrogeológiai modellt, miszerint vannak regionális, átmeneti és helyi felszín alatti gravitációs áramlási rendszerek, melyeknek a Kárpát-medencében is meghatározó jelentősége van (Tóth, 1999).

A modell szerint a lápokat részben, míg a szikes vizeket nagyobb részben helyi felszín alatti gravitációs áramlási rendszerek táplálják vízzel, amely a helyreállításuk szempontjából is meghatározó. Ezzel szemben a mocsarakat leginkább a felszíni vízgyűjtőn összefolyó vizek táplálják, ezért ezek helyreállítása közvetlen felszíni vízpótlással viszonylag egyszerűen lehetséges, amire számos működő elsősorban természetvédelmi példát találunk, míg a felszín alatti vizek-

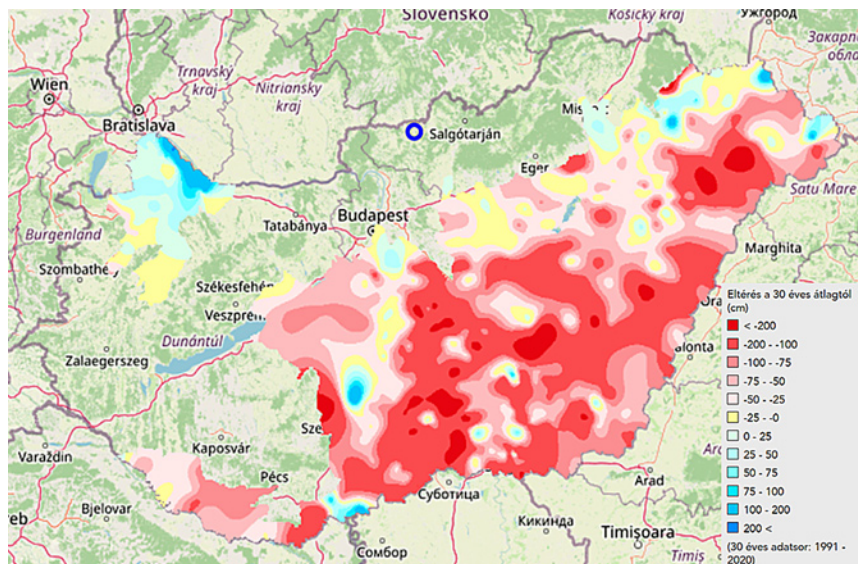


5. ábra A gravitációs felszín alatti vízáramlások és a vizes élőhelyek tagozódása.
 Forrás: Mádlné Szőnyi (2013) és Tóth (1999)

től függő vizes élőhelyek esetében ez nem elégséges. Ezek esetében olyan közvetett megoldásokat kell alkalmazni, melyek elősegítik a felszín alatti áramlási rendszerek helyreállítását. Ilyen megoldás lehet a beszívargási területek vízpótlása, illetve a vizes élőhely hálózatban a célterülethez hidrológiailag a felszín alatt kapcsolódó mocsári jellegű vízterek árasztása, így a várható elszívargáson keresztül valósulhat meg a közvetett, felszín alatti vízpótlás. Az ilyen típusú vizes élőhely rehabilitáció kivitelezése sokkal nehezebb feladat, mint a közvetlen beavatkozások, de van már erre is működő példa. Például a Szomor Mintagazdaság a Kiskunsági Nemzeti Parkban 20 éve végzi a szikes vizesélőhelyek árasztásos rehabilitációját és legeltetési kezelését Apaj-pusztán, amely példaértékű eredményeket szolgáltat a szikes vizes élőhelyek helyreállítására vonatkozóan. Ennek lényege, hogy a vizes élőhely rendszer közvetlen árasztása (440 ha) a Dömsödi-árapasztó csatornán keresztül a Dunából származó vizekkel történik, októbertől márciusig évente kb. 3 millió m³ csatornavíz jut ki az Alsó-Szűnyogirétre, ami nyár közepére nagyrészt elpárolog. Az árasztás hatására közvetlenül kialakult vizes élőhelyek mellett a felszíni vizek gravitációs elszívargásával és a szikes talajvíz megemeléssel közvetetten is hozzájárul a környező szikes víz-

terek helyreállításához. Emellett a terület kezelése magyar szürke marha és bivaly extenzív legeltetésével történik villanypásztoros rendszerben, adaptív állatmennyiséggel, májustól novemberig. A legelő állatoknak nem csak a növényzet kezelésében, hanem a mechanikai hatásukon keresztül – melyben a bivalyok a leghatékonyabbak – a szikesedés szempontjából meghatározó felszíni és talajvíz kapcsolat, valamint a lebegő ásványi anyagok okozta zavarosság fenntartásában is nagy szerepe van. Emellett az ürülék bomlásának biokémiai folyamatai is elősegíthetik a szikesedést.

A kialakulásukból és működésükből eredően a felszín alatti vizektől függő vizes élőhelyek jól jelzik a talajvízszint süllyedést. Közismert példa erre a Duna-Tisza közi Homokhátságon évtizedekkel ezelőtt bekövetkezett talajvízszint csökkenés, melynek hatására tömegesen tűntek el a homokhátak közötti mélyedésekben előforduló szikes vizek és a lápok a két folyó között. Mint ahogy már utaltam rá, a talajvízszint csökkenés sajnos egyre jobban kiterjed az egész Alföldre (6. ábra), és most már a folyóvölgyekben is érzékelhető, valamint a folyók bevágódása is hozzájárul a fokozódó vízhiányhoz. A folyók vízszintjének süllyedése egyúttal azt is maga után vonja, hogy az árvízi időszakokon kívül már nem lehet számottevő mennyiségű vizet gravitációs úton kivezetni a hajdani árterületekre, ami megnehezíti a vízpótlás megvalósítását. A talajvízszint süllyedés következtében a szikesedési horizontok is lejjebb húzódnak a talaj-



6. ábra Az aktuális talajvízszint eltérése a 30 éves átlagtól Magyarországon.

Forrás: vizugy.hu

ban, ezért a talajok és vizek szikszótartalmának csökkenése tapasztalható. Ezzel egyidejűleg viszont az édes vízű Balatonban éppen ellenkezőleg növekszik a sótartalom (szalinizáció), amit viszont a felszíni vízgyűjtőterületről bemosódó antropogén eredetű szulfát és kloridsók okoznak, mivel a Balaton vízforgalmában a felszín alatti vizeknek elenyésző a jelentősége. A kontinentális vizek szalinizációja globális jelenség, ami a klímaváltozással egyidejűleg az urbanizációval is szorosan összefügg, melyet a Balaton esete is jól példáz.

Az élőhelyek helyreállításának kérdése különösen aktuális most, mert az Európai Tanács idén elfogadta azt az ún. „természet helyreállításáról” szóló rendeletet, amely nagyon ambiciózus célokat tűzött ki (<https://www.restoration-ecology.hu/a-termeszeti-helyreallitasi-rendeletrol/>). A jogszabály célja, hogy 2030-ig megvalósuljon az EU szárazföldi és tengeri területeinek legalább 20%-ának, 2050-ig pedig az összes helyreállításra szoruló ökoszisztémának a helyreállítása! A helyreállítást komplex ökológia hálózatban gondolkodva, tudományos alapon, a hidrogeológiai és hidro-ökológiai sajátosságok figyelembe vételével úgy kellene megtervezni, hogy az fenntartható módon biztosítsa a hidrológiai ciklus megfelelő működését, valamint a vízi és vizes élőhelyek hálózatának felszíni és felszín alatti kapcsolatát a régióban. Mindez csak jelentős földhasználati konverziókkal, a kezelési módok és a vízgazdálkodás jelentős változtatásával érhető el. Az ökológiai vízigény biztosítása érdekében a csapadékra alapozott vízmegőrzés szükséges, de a klímaváltozás hatásai miatt ma már nem elégséges, ezért a lecsapolt ősi ártereken a folyókból történő vízkivezetés is szükséges. Ennek lehetősége gravitációs úton egyre kisebb mennyiségre korlátozódik, ezért az aktív (pl. szivattyúzás) vízpótló rendszerek kiépítésébe is kell gondolkodni, viszont ezt fenntartható módon kell üzemeltetni a megújuló energiával (pl. napenergia).

Az öntözés mezőgazdasági célt szolgál, azonban ez nem keverendő össze az ökológiai célú vízpótlással, mellyel sokszor éppen konkurens, illetve ellentétes vízigényeket keletkeztet. Röviden összegezve a bizonyosságokat és a bizonytalanságokat a vizes élőhelyeink múltját, jelenét és jövőjét illetően a kialakult helyzet aggasztó. Kicsit bővebben nagyon aggasztó! A bizonyosságok egyértelműen negatívak, a klímaváltozás mellett a kedvezőtlen körülmények jelentős része emberi hatás, úgy mint a negatív vízmérleg (tájhasználat és vízfelhasználás), a vízigények további fokozódása, a vizes élőhelyek drasztikus csökkenése (~70–85%). Bizonyos, hogy a vízvisszatartás szükséges, de ma már az is hogy sajnos nem elégséges. Bizonytalanság övezi a klímaváltozás további mértékét és hatásait. Szintén bizonytalan a vízpótlás, leginkább az hogy honnan, hogyan és miből? Bizonytalan, hogy a további gazdasági növekedés fokozása, valamint a sokszínű társadalmi igények mit eredményeznek. A vizes élőhelyek helyreállítása jelentősen hozzájárulna a vízhiány és a klímaváltozás negatív hatásainak

enyhítéséhez, amire az EU természet-helyreállítási terv egy jó aktuális lehetőség, de ehhez jelentős földhasználati konverziókra és víztakarékos tájhasználatra, technológiákra és életmódra is szükség van. A vízprobléma kezeléséhez szükséges szemléletmód váltást az intenzív környezeti változások előbb-utóbb kikényszerítik, ha előbb jobb, utóbb viszont egyre nagyobb környezeti, gazdasági és társadalmi károkkaal kell számolnia, melyeket már most is érzékelhetünk!

Hivatkozott irodalom

Boros E. és Vörös L. (2024): How Can Unique Alkaline Soda Waters Be Managed and Restored? Lake Neusiedl as the Largest Threatened European Example. *Ecohydrology*, e2738. <https://doi.org/10.1002/eco.2738>

Boros E., Ecsedi Z., Oláh J. (eds) (2013): *Ecology and Management of Soda Pans in the Carpathian Basin* Hortobágy Environmental Association, Balmazújváros. p. 551 (ISBN: 9789630894715 OSZK)

Dévai Gy. (2018): A vizes élőhelyek típusai, sajátosságai és megőrzésük lehetőségei. *Debreceni Szemle* XXVI/4: 381–414.

Hegedűs J.N. (1788): *Mappa Situationem Inclyti Comitatus Soproniensis cum omnibus eidem ingremiatis Urbibus, Oppidis, ac Possessionibus, non fecus Fluvius, Rivulis, Vüs Postalibus et Commercialibus, in üsdém que designates stationibus exhibens.* ca. 1:111,550, Országos Széchényi Könyvtár, TK 1614, <http://maps.hungaricana.hu/hu/1612>

Mádlné Szőnyi J. (szerk.) (2013): *Hidrogeológia. Egyetemi Jegyzet.* Eötvös Loránd Tudományegyetem.

Tóth J. (1999): Groundwater as a geologic agent: an overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeol J.* 7, 1–14.

A jövő zöld bizonytalansága: anomáliák, biomassa arányok és a genetikai változatosság kérdései a növényvilágban

Pénzesné Kónya Erika

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Biológiai Intézet

Növényteni és Növényélettani Tanszék, Eger

konya.erika@uni-eszterhazy.hu

Bevezetés

„Ha a 20. század a fizika, a 21. század a kibernetika, biológia és ökológia évszázada. A technológiai fejlődés új határokat ért el és régi korlátokat fedezett fel” – írta Craig Venter és David Cohen (Venter és Cohen 2014).

Ezt az évszázadot egy tudományos kettősség jellemzi: újabb és újabb tudományban nagy eredménynek számító felfedezést tesznek a tudósok, egyre több tudományos eredmény lesz hasznossá az emberiség számára az orvostudományban, az energiaiparban. Ugyanakkor éppen a tudósok hasznos és sokszor áldozatos munkája mutat rá az emberiség „gyengeségeire”, azaz azokra a veszélyekre, melyek éppen ezekből a fejlődést elősegítő tevékenységekből következnek. Ezért is fogalmaztam meg a „zöld bizonytalanság” kifejezést, mely az ökológusok, botanikusok számára sok jövőbeli változást összefoglal, melyek, mint általában a tudományos munka, becslésen, valószínűségek elemzésén alapuló eredményei – nem tudnak 100 százalékban pontos jövőképet adni. Idegen szóval élve úgy is mondhatjuk, hogy a kutatásban a bizonytalanság pervazív. A társadalom szereplői, vezetői azonban konkrét javaslatokat várnak el a tudósoktól, amelyet éppen ezért nagyon nehéz döntésekben összefoglalni. A 21. század nagy előnye az előző évszázadokhoz képest, hogy rengeteg információt elérhetünk és ezek segítenek a globális folyamatok megismerésében is.

Nézzük meg a tudományos kutatások eredményei alapján a növényvilág és az élő rendszerekben zajló folyamatok néhány globális léptékű, majd térben és időben kisebb léptékű változásait, melyek az utóbbi évtizedekben mutatnak drasztikus trendeket a világ számos pontján, számos kutató vizsgálatai alapján. A tanulmány témája tehát a Föld növényeinek jövőbeli borítási, előfordulási, diverzitási és strukturális változásainak variabilitásában rejlő bizonytalanság, melyre a jelenben becsléseket, a jövőre vonatkozóan az eredmények alapján predikciókat alkotunk.

Milyen ökológiai alapvetések határozhatják meg a jövőbeli változásokat?

- Kimutatható, évtizedek alatt lezajló éghajlati változásoknak vagyunk tanúi, melynek hosszú és rövid időléptékű értékelésével is foglalkoznak a tudósok

- Globális, regionális és lokális léptékben más folyamatok határozzák meg a növényfajok és vegetáció környezeti tényezők változásaira adott válaszait és a biomassa arányokat.
- A növényfajok belső környezete (genetikai diverzitás, egyedi változatosság) és interakciós mintázata is befolyásolja az elterjedési mintázatok alakulását adott térben és időben.
- A növényfajok kihalási sebessége egyre gyorsul, a természetes növénytakaró borítása egyre csökken, mely az utóbbi évtizedekben gyorsuló tendenciákat mutat.

Nézzük meg, milyen bizonytalanságok és bizonyosságok azok, amelyeket a tanulmányban kiemeltem, már kutatott és publikált adatok alapján.

Fordulópontok az ökológiai rendszerekben és a földi folyamatokban

„Future is a dance between patterns and events - a jövő tánc a mintázatok és események között” (Boulton et. al. 2015). Ez a mondat leírja a természetben zajló folyamatok komplexitását, melyek az élő rendszerekben zajlanak.

Ezért is választottam azt előadásomban és a tanulmány megírásánál, hogy fordulópontokra hívom fel a figyelmet, amelyek fontosak lehetnek a jövőbeli komplex ökológiai folyamatok szempontjából.

1.fordulópont: A természeti és az ember és az épített környezet (technomassza) arányainak megváltozása

2020-ban jelent meg egy tanulmány a Nature-ben (Elhacham et. al. 2020), amelyben a szerzők az ember által létrehozott összes anyag tömegét vetették össze az élő, természetben előforduló rendszerek tömegével (1. táblázat a következő oldalon). Az ember által létrehozott épített környezet nagyobb egységeit (aszfalt beton, téglák, fémek, műanyag, törmelék) osztották a technomassza kategóriába, melyhez az ember és a tenyésztett háziállatokat is hozzáadták.

Az adatok alapján azt mondhatjuk, hogy a mesterséges, épített környezet tömege nagyobb, mint a természeti környezet tömege, mindez úgy jött létre, hogy az emberi népesség tömege elenyésző tömeget (0,12Gt) képvisel a Földön a többi élőlényhez képest. Ez főként a Föld potenciálisan benépesíthető élőhelyeinek szempontjából vet fel aggályokat.

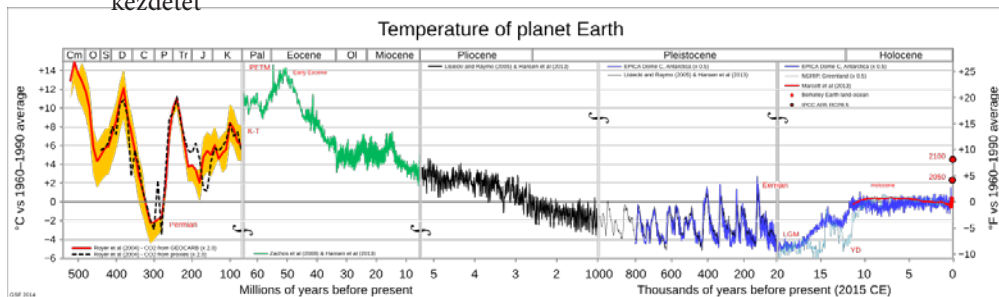
2. fordulópont: Átmenet az Antropocén korbá és éghajlatba

Ha végig nézzük a Földi éghajlat változásait hosszú időléptékben, csak a holocén volt a föld történetében olyan időszak, amikor az éves középhőmérsékleti értékek eltérései +1 és -1 fok között mozogtak (Steffen et. al. 2015). Az

Ember által létrehozott anyagok	Tömeg érték (gigatonna, Gt)	Természetben megtalálható biomassa	Tömeg érték (gigatonna, Gt)
Beton	661	Növények	900
Építési törmelék	431	Baktériumok	140
Tégla	105	Gombák	24
Aszfalt	73	Archaeobaktériumok	14
Fémek	44	Egysejtűek	8
Műanyagok	13	Állatok	5,2
Ember	0,12	Vírusok	0,4
Tenyésztett állatok	0,2		
Összes	1327,32		1091,6

1. ábra: A technomassa és a természetes élő rendszerek biomasszája gigatonna (Gt) értékben. Forrás: Elhacham et. al. 2020, <https://biocubes.net/>

emberiség 10 ezer éves civilizáció története egybe esik azzal a kiegyenlített földi éghajlatú holocén időszakkal, amelyből éppen az emberi tevékenység növekedésének hatására az elmúlt évtizedek adatai alapján már kiveztünk magunkat és az Antropocén kor kezdetét éljük. Ha megnézzük, hogy mekkora változásokkal jár ez ránk nézve, akkor érdemes az elmúlt néhány ezer, százezer vagy millió év átlaghőmérséklet változását összevetni a holocén időszakkal és óriási különbségeket hoz az összehasonlítás (2. ábra). Elhagyva a holocén kor éghajlati „nyugalmát”, feltehetően ez a változás, mely éghajlati szempontból vár a földi élő rendszerekre de főként ránk, emberekre, hozzáátve a tengerszint változását és a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoriságának növekedését, indokolt fordulópontnak tekinteni az antropocén kezdetét

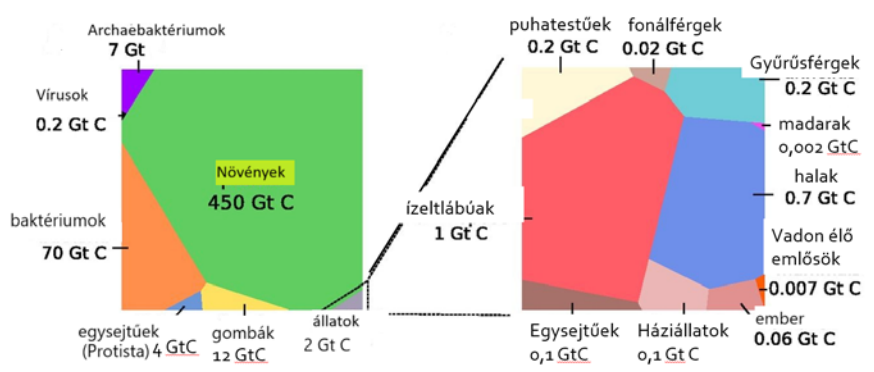


2. ábra: A föld átlaghőmérsékletének alakulása az elmúlt 540 millió évben (forrás: Glen Fergus https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:All_palaeotemps.svg#Data, Kaufman et al. 2020)

3. fordulópont: Az élő rendszerek biomassza eloszlási fordulópontja

Ez már igazán egy olyan fordulópont, ahol csak az élő rendszerekre és az ökológiai rendszerekre koncentrál. Bar On és munkatársainak eredményei azt mutatják (Bar On et al. 2018), hogy az egyes élőlénycsoportok biomasszájának földön tapasztalható eloszlása csoportonként elég meglepően alakul.

A növények esetében a 2018-as adatok (ez a kutatás több megelőző év, sőt évtized eredménye) még nem mutatnak meglepő arányváltozásokat, de az emlősöknél és vad madaraknál más a helyzet. A biomassza arányok összehasonlításakor jól látható, hogy nagyságrendileg az állatok biomassza aránya milyen elenyésző a többi élőlénycsoportéhoz képest. Ha még tovább bontogatjuk az eredményeket, azt látjuk, hogy a vadon élő emlősök és a vadon élő madarak összegzett biomasszája, azaz pontosabban a tárolt szén mennyisége sokkal kisebb, mint az ember és a tenyésztett háziállatok biomasszája. tehát megérthetjük, hogy miért neveztem ezt a jelenséget fordulópontnak. (3. ábra)



3. ábra: A biomassza eloszlása a Földön (forrás: Bar On et al. 2018)

A biomassza gigannta szén mennyiségre van megadva (Gt C).

A fajok eloszlása a Földön

Hány faj él a Földön? Erre a kérdésre sok tudós adott már különböző nagyságrendű válaszokat. Ennek egyik oka, hogy csak a már valamilyen mértékben meghatározott, nyilvántartott (genetikai vagy morfológiai alapon) fajokat tudjuk számolni, becsülni és összesíteni. A másik oka, hogy a 2000-es évekig egyes csoportok feldolgozásának eredményeit összesítették a kutatók, de ezek a felmérések sohasem voltak mindenre kiterjedőek. Egy tanulmány ehhez képest átalakuló előrelépést jelentett (Mora et al. 2011). Ez az egyik leginkább használt becslés a Földön élő élő fajok számával kapcsolatban (8,75 millió), annak ellené-

re, hogy ebben a tanulmányban a fajoknak körülbelül 80%-a hipotetikus, azaz becsléseken alapszik. Egy 2023-ban megjelent tanulmány (Wiens2023) sem tisztázza pontosan, hogy melyik fajbecslési eljárások, vagy kutatások a legpontosabbak, de azt elemzi, hogy Mora és munkatársai tanulmánya és eredményei miért jelentett fontos előrelépést, és hogyan haladhatunk tovább a tudományban ennek az alapvető számnak a becslésében. (4. ábra)

Taxonómiai csoport	Mora és munkatársai becslései (2011)	Alternatív becslések
Baktériumok	9 700	2-4 millió és 3,2 milliárd között
Egysejtűek	63 900	1-10 millió
Gombák	611 000	6,3 millió
Rovarok	<5,6 millió	21,1 millió
Rovarkapcsolt taxonok	< 5,6 millió	50-90 millió
Edényes növények	35 698	400-450 000 összesen minden csoporttal

4. ábra: Hány faj él a Földön a különböző becslések szerint?
(Forrás: Wiens 2023, Stuart L. et al. 2015, Kew 2023)

A fenti táblázatból nyilvánvaló, hogy ebből az elemzésből hiányzik a növényfajok számának becslése. Ezt a Kew Garden State of the World's Plant jelentéséből viszonylag jól nyomon követhetjük 2016 óta (RBG KEW 2016) Ebben a jelentésben 370 ezer növényfaj olvasható.

A 2023-ban megjelent jelentés szerint 350,386 érvényes edényes növényfajt tartunk számon és 2 500 000 gomba taxont (RGB Kew 2023).

Mindezeket áttekintve azt látjuk, hogy a természetvédelem, az ökológia kutatói, szakemberei nincsenek könnyű helyzetben, hiszen sok esetben az éppen vizsgált ökológiai rendszer számos fajtát nem ismerjük, tehát nem minden folyamat követhető a rendszerben (Leclére et. al.2020).

2024-ben került elfogadásra és véglegesítésre a Kunming- Montreál Biodiverzitás Keretrendszer 6 hosszútávú, 2050-ig megvalósítandó célja, valamint a rövidebb távon kitűzött, kidolgozott 23 célkitűzése 2030-ig. Nagy hatása a megjelent cikkek, tanulmányok számában is érezhető, amely egyre növekszik és sok tanulmány elkészültét befolyásolta (Graner 2024). A keretstratégia céljai között szerepel a világ szárazföldi, édesvízi, tengeri és tengerparti területei 30 százalékának védelem alá helyezése 2030-ig, valamint évente 200 milliárd dollárnyi, a biológiai sokféleséggel kapcsolódó támogatások mozgósítása. A világ országai

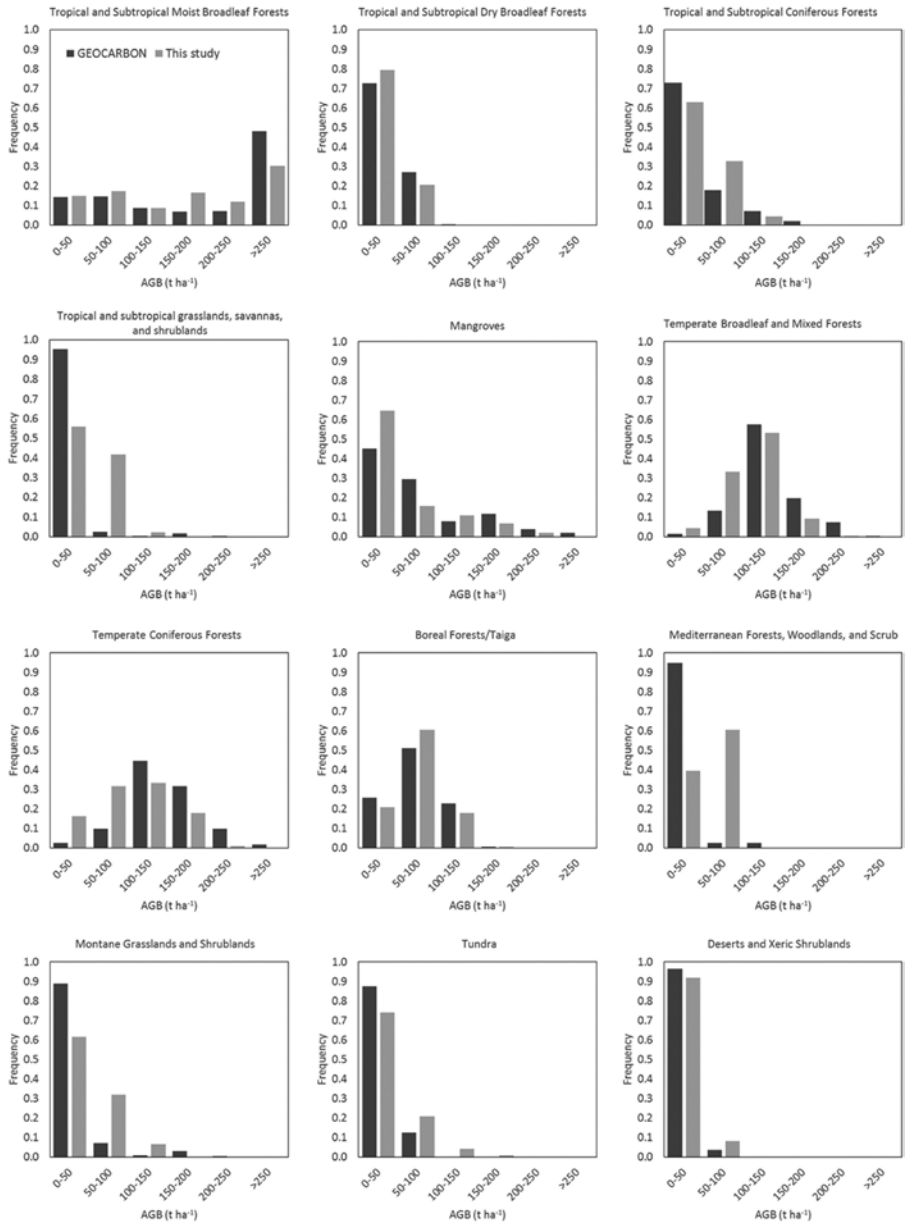
vállalták ebben a keretstratégia egyezményben, hogy a természetre káros támogatásokat 2030-ig megközelítőleg 500 milliárd dollárral csökkentik vagy módosítják. A gazdaságilag erősebb országok vállalták, hogy 2025-ig évente legalább 20 milliárd dollárral, 2030-ig évente legalább 30 milliárd dollárral támogatják a fejlődő országokat a biodiverzitás keretstratégia céljainak megvalósításában.

Mi a helyzet biomok szintjén? Mennyire lehet az egyes biomok esetében meghatározni természetvédelmi helyzetüket, sérülékenységet? Az egyik legvitatottabb a módszerek tekintetében az elmúlt évtizedekben a távérzékelés és a valódi adatok között feszült, alul- és felülbecslések is előfordultak. (Wade et al. 2003, Rodriguez-Veiga et. al. 2019). Ezek a tanulmányok mégis értékesek, hiszen jó áttekintéseket kaphattunk a biomok biomassza arányaira (5. ábra a következő oldalon).

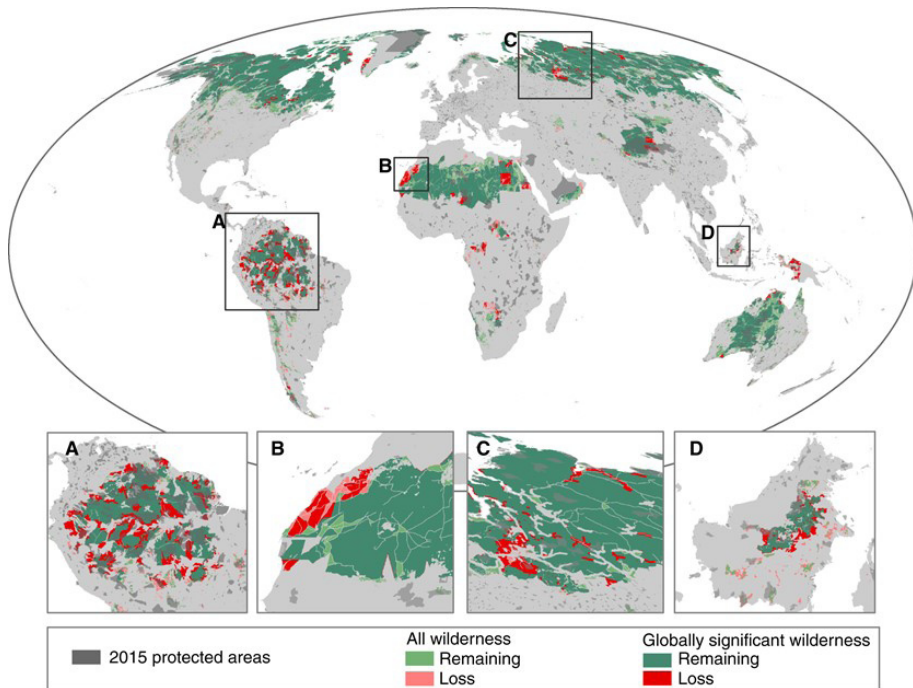
Az ábra adatai és a terepi megfigyelések, mérések adatai azt mutatták, hogy mind felül- mind pedig alábecslés előfordult az értékek meghatározásában. Ha a vegetáció vagy biomok regenerálódó képességét, a vegetáció rezilienciáját akarják a kutatók meghatározni, még inkább érezhető, mérhető a torzítás a földi megfigyelő rendszerek, azaz a távérzékelési rendszerek és a lokális, kisebb léptékű terepi megfigyelések adatai között (Feng et. al. 2021). Még ehhez tehetjük hozzá, hogy az ökológiai rendszerek struktúrájában, működésében fontos a hosszú életű nagy testű fajok szerepe, amely sokszorosára emeli egy ökológiai rendszer stabilitását. Sajnos a nem megfelelő tájhasználat, az élőhely fragmentáció, túlhalászat vagy erdőirtás éppen ezekre a fajokra helyez szelekciós nyomást. Nem attól erdő az erdő, hogy fák vannak benne, fontos a faj, kor, struktúra és méret összetétel, ráadásul az idős fák az erdei ökoszisztémában megnövelik a produktíót és a biomasszát, amit a távérzékelési rendszerekkel nem tudunk megfigyelni (Enquist et al. 2020). (Lásd 6. ábra a következő lapon.)

Nem mondható el az utóbbi évtizedekről, hogy az emberi tevékenység kímélte a védett és vad területeket (6. ábra) Becslések szerint 3,3 millió km² veszett el az 1990-es évek eleje óta (körülbelül 9,6%-os veszteség két évtized alatt. A legnagyobb veszteség Dél-Amerikában (29,6%-os veszteség) és Afrikában (14%-os veszteség) következett be. A fenti ábra és tanulmány adatai szerint (Watson et al. 2016) a vadon nagy része (82,3%, azaz 25,2 millió km²) még mindig nagy, legalább 10 000 km²-es összefüggő természeti területekből áll globális viszonylatban. Bár ez egy tetszőleges küszöb, ekkora összefüggő vad területeket gyakran globálisan jelentős természeti területi egységnek tekintik a tudósok és természetvédők.

Ha kisebb léptékű változásokat követünk biomok szintjén, korántsem biztatóak a kilátások a legnagyobb kiterjedésű trópusi esőerdei biomra, az Amazonas esőerdő területeire vonatkozóan. Carlos Nobre és munkatársai az esőer-



5. ábra: Éves visszaszármaztatott föld feletti biomassza (AGB) értékek az egyes biotópokban a földi megfigyelő rendszerek adataiból (Forrás: Rodriguez-Veiga et al.2019)



6. ábra: természetes vegetáció és élőhely veszteség globális szinten a védett területekhez viszonyítva (Forrás: Watson et al. 2016)

dő szerkezetét vizsgálva kimutatták, hogy egy kritikus területvesztés után már visszafordíthatatlan az esőerdő szavannásodása (Sampaio et al. 2007, Nobre et al. 2016). Összefüggést úgy mutattak ki, hogy az esőerdő mikroklímáját a lombkorona feletti meteorológiai állomásokkal monitorozták, így az éghajlat és a mikroklíma hatásait is tudták mérni. Kimutatható volt, hogy néhány évtized alatt napokkal nőtt a száraz évszakok hossza, 4 hétről 5 hétre negyven év alatt, ami a drasztikus erdőirtások miatt folyamatosan növekszik. Azt a kritikus határt, ahol az esőerdő már nem képes a szárazodási folyamatokat kompenzálni, „Amazonas tipping point”-nak, Amazonas fordulópontnak nevezte el (Lovejoy és Nobre 2018). Ezt a fordulópontot 2022-ben 20 évvel későbbre jósolták a kutatók. Ami azért reménykeltő és mutatja a brazil kutatók és kutatótársaik eredményeinek hatását, hogy 2023 óta még több összefogás és támogatás jut erre a területre, amely kiterjed az erdőirtások visszaszorítására és a szőjaültvények, marhalegelők létesítésének szigorítására (Pena-Claros, Nobre 2023). Így talán el lehet kerülni, hogy elérjük az Amazonas esőerdei területein a fordulópontot 2050-ig.

Antropocén helyett Pyrocén?

Az emberi hatások egyik leginkább aggasztó és látványos eredménye korunkban a kiterjedt és intenzív tüzek idejének és kiterjedésének növekedése globális szinten (Nimmo et al. 2021)

Los Angelesben 2024 végén, 2025 elején tomboltak hatalmas és intenzív tüzek, melyek California erdős területeit sem kímélték, de sajnos az utóbbi években egymást követik ezek a szélsőséges események. Az elmúlt években tűz ütött ki Colorado városaiban, az Appalache-szigetek déli részén és Maui szigetén, valamint Kanadában, Ausztráliában, Portugáliában és Görögországban. Ausztráliában a legszélsőségesebb ilyen esemény volt a Black Summer Fires tüzesemény sorozat 2019-2020-ban, melynek kiterjedése 240 000 ha volt (Nolan et al. 2021). A boreális öv erdőtűz forró pontja 2023-ban Kanada volt: 9-szer nagyobb széndioxid emissziót produkált 2023-ban, mint az előző egész évtizedben (Jones et al. 2024).

Megerősített nemzetközi együttműködés létezik a tűzoltás terén az európai mediterrán térség országai között. Az Ibériai félsziget tüzeinek terjedési sebességét vizsgálva azt kapták a kutatók, hogy sok tényezőtől függ a tűz terjedése ezen a területen: a termodinamikai környezet, de a csapadék, a nitrogénciklusban vagy a földhasználatban bekövetkező változások is befolyásolják az erdőtüzek terjedési sebességét, megváltoztatva a növényzet szerkezetét, valamint a tömeget, azaz a rendelkezésre álló tüzelőanyag mennyiségét. Áttekintve az utóbbi évtized tüzeseményeit, nagyfokú bizonytalanság rejlik abban is, hogy a jövő évtizedek növénytakarójának szerkezetére milyen hatással lesznek az új típusú, nagy kiterjedésű és intenzív tüzek (Senande-Rivera et al. 2025).

Bizonyosságok és bizonytalanságok kisebb léptékben: fajok elterjedése és genetikai változatosság

Nem mindig rossz híreket jeleznek a kutatók ebben a változó világban az élőlények változatosságát és elterjedését illetően. Az élet sokszor utat tör magának és a gyors környezeti változások ezeket a folyamatokat számunkra is láthatóvá, emberi léptékkel is mérhetővé teszik, legalábbis azoknak a kutatóknak, akik több évtizeden keresztül monitorozzák ezeket a fajokat. Sok hazai és külföldi példát tudnánk hozni, én most néhányat kiválasztottam, amelyek az utóbbi évtizedek éghajlati változásait tükrözik.

A mediterrán területeken őshonos *Thymus vulgaris* L. populációk genetikai variabilitását és adaptív folyamatait vizsgálta Thomson munkatársaival több évtizeden keresztül. Megfigyelték, hogy két kakukkfű változat volt megfigyelhető a franciaországi mintaterületeken: egy szélsőséges fagyokat tűrő populáció,

amely kisebb növekedési, terjedési rátával rendelkezett és egy fagyokat kevésbé tűrő, de gyorsabban növekvő és nagyobb szaporodási rátájú genetikai változat. A 30 évnyi populáció monitorozás eredményei azt mutatják, hogy az extrém hideget tűrő genetikai változat letűnően van és helyét a kevésbé fagyűrő kakukkfű populációk foglalják el, ez 24 mintaterületből 17 esetben volt megfigyelhető (Thomson et al.2013).

Olvashatunk olyan, növényfajok elterjedését vizsgáló kutatást is, amelyek a tszf.-i magasság szerint mutat eltérést, például Franciaországban több fás- és lágyszárú növényfajt figyelembe véve (Lenoir et.al. 2008). Logisztikus regressziós modell alkalmazásával szignifikáns magassági eltérést kaptak 4 atlantikus európai elterjedésű növényfaj előfordulása esetében, ezek az *Paris quadrifolia* és *Orthilia secunda*, *Galium rotundifolia* és *Sorbus aria*. Évtizedek alatt ezek a fajok nagyobb tengerszint feletti magasságokba „mozogtak”, tették át élőhelyüket.

Más kutatások azt mutatják, hogy az egyéves növények elterjedési zónái fog-
nak növekedni, szélesedni a jövőben az éghajlati szélsőségek előfordulási gyakoriságait figyelembe véve. Azoknak az ökorégióknak az aránya a 682 ökorégióból, amelyekben ezek a növényfajok 20%-ot elérnek a többi lágyszárú élő fajhoz képest jelenleg 27-28% körül mozog. A kutatás azt mutatja, hogy ez az arány, tehát azoknak az ökorégióknak az aránya, amelyben az egyéves növényfajok 20%-os gyakoriságot elérnek fel fog menni 40-45%-ra a jövőben, de 2060-ra 69%-ot jósol a kutatás (Poppenwimer et. al. 2023).

Összefoglalás

Sok dolgot lehetne még végiggondolni ebben a témában, de most arra a kérdésre kerestem a választ, hogy miből is ered az általam megfogalmazott kifejezés, a „zöld bizonytalanság”? A válasz sokféleképpen megfogalmazható, de én így írnám le: a Föld növényeinek jövőbeli borítási, előfordulási, diverzitási és strukturális változásainak variabilitásában rejlő bizonytalanság, melyre a jelenben becsléseket, a jövőre vonatkozóan az eredmények alapján predikciókat alkotunk. Ehhez a válaszhoz még azt is hozzátehetnénk, hogy globális, regionális és lokális léptékben más folyamatok jellemzik, de ezt a kutatók maguktól is tudják.

Ahogy azt is, hogy a növényfajok belső környezete (genetikai diverzitás, egyedi változatosság) és interakciós mintázata is befolyásolja a fent leírt folyamatokat adott térben és időben.

A bizonytalanság pervazív: minden kutatásban és eredményben figyelembe kell venni és ez alapján kell döntéseket tervezni. Abban rejlik még sokszor globális szinten a bizonytalanság, hogy ezeknek a globális szintű kutatásoknak kis arányú az ismételhetősége.

A fenti eredményekből az is látható, hogy a növényzeti struktúrák, vegetációs egységek az éghajlatváltozás (valamint a globális változások, zavarások) több együtt ható, egymással interakcióban lévő tényezőjére reagálnak, és a rövid időtartamú válaszok gyakran eltérnek a hosszú távon tapasztalhatóktól, melyeknek összehasonlítása a jövő kutató generációjának feladata lesz.

Mit tehetünk annak érdekében, hogy a tanulmányban tárgyalt bizonytalanságok ne jelentsenek veszélyforrást? Törekednünk kell a növényfajok zéró kihasználására a zöld felület és a légköri oxigén szint fenntartása és a globális ciklusok folyamatainak fenntartása érdekében. Az ökoszisztémákban a gyakoribb, szélesebb elterjedésű, rövidebb életciklusú növényfajok is rendkívül értékesek, nekik is megvan a széntároló, oxigéntermelő funkciójuk.

A zonális és regionális vegetáció kutatások eredményei alapján hangsúlyozni kell, hogy a nagy szén megtartó, hosszú életű, nagy termetű fajok és magas komplexitású életközösségek védelme a legmagasabb prioritású a természetvédelmi és restaurációs programokban.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom a Magyar Természettudományi Társulat elnökségének az előadás és a tanulmány megírásának lehetőségéért, valamint az Eszterházy Károly Katolikus Egyetemenek, hogy részt vehettem ebben a rendezvénysorozatban.

Irodalom

BAR-ON, Y, M. PHILLIPS, R. MILO, (2018): The biomass distribution on Earth, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.115 (25) 6506-6511, <https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115> (2018).

BOULTON, J, ALLEN, P AND BOWMAN, C (2015): 'Unpacking Complexity', Embracing Complexity: Strategic Perspectives for an Age of Turbulence (Oxford, 2015; online edn, Oxford Academic, 17 Sept. 2015), <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199565252.003.0003>

CORLETT, R. T. (2023): Achieving zero extinction for land plants. Trends in Plant Science, Volume 28, Issue 8, 913-923, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.03.019> (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138523000997>)

ELHACHAM, E., BEN-URI, L., GROZOVSKI, J. et. al.(2020): Global human-made mass exceeds all living biomass. Nature 588, 442–444 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>

ENQUIST, B.J., ABRAHAM, A.J., HARFOOT, M.B.J. ET AL.(2020): The megabiota are disproportionately important for biosphere functioning. *Nat Commun* 11, 699 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14369-y>

FENG, Y., SU, H., TANG, Z. et al.(2021): Reduced resilience of terrestrial ecosystems locally is not reflected on a global scale. *Commun Earth Environ* 2, 88 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00163-1>

GRANER, T. (2024): Biodiversity—a service for humans or a right of every species and nature in itself? <https://stud.epsilon.slu.se/20303/1/graner-t-240707.pdf>

JESÚS SAN-MIGUEL-AYANZ, JOSE MANUEL MORENO, ANDREA CAMIA (2013) Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives, *Forest Ecology and Management*, Volume 294, 2013, Pages 11-22, ISSN 0378-1127 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.050>.

KAUFMAN, D., MCKAY, N., ROUTSON, C. ET AL.(2020): Holocene global mean surface temperature, a multi-method reconstruction approach. *Nature.com Sci Data* 7, 201 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0530-7>

LECLÈRE, D., OBERSTEINER, M., BARRETT, M. ET AL. (2020): Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature* 585, 551–556 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2705-y>

MATTHEW W. JONES, SANDER VERAVERBEKE, NIELS ANDELA, STEFAN H. DOERR, CRYSTAL KOLDEN, GUILHERME MATAVELI, M. LUCRECIA PETTINARI, CORINNE LE QUÉRÉ, THAIS M. ROSAN, GUIDO R. VAN DER WERF, DAVE VAN WEES, JOHN T. ABATZOGLOU. Global rise in forest fire emissions linked to climate change in the extratropics. *Science*, 2024; 386 (6719) DOI: 10.1126/science.adl5889

MORA C, TITTENSOR DP, ADL S, SIMPSON AGB, WORM B.(2011): How many species are there on Earth and in the Ocean? *PLoS Biol.* 2011;9:e1001127. doi: 10.1371/journal.pbio.1001127.

NIMMO, D. G., CARTHEY, A. J. R., JOLLY, C. J., & BLUMSTEIN, D. T. (2021). Welcome to the pyrocene: animal survival in the age of megafire. *Global C*

C.A. NOBRE, G. SAMPAIO, L.S. BORMA, J.C. CASTILLA-RUBIO, J.S. SILVA, M. CARDOSO (2016): Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113 (39) 10759-10768, <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>

NOLAN, R. H., BOWMAN, D. M. J. S., CLARKE, H., HAYNES, K., OOI, M. K. J., PRICE, O. F., WILLIAMSON, G. J., WHITTAKER, J., BEDWARD, M., BOER, M. M., CAVANAGH, V. I., COLLINS, L., GIBSON, R. K., GRIEBEL, A., JENKINS, M. E., KEITH, D. A., MCILWEE, A. P., PENMAN, T. D., SAMSON, S. A., ... BRADSTOCK, R. A. (2021): What Do the Australian Black Summer Fires Signify for the Global Fire Crisis? *Fire*, 4(4), 97. <https://doi.org/10.3390/fire4040097>

OBURA, D. (2023): The Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework: Business as usual or a turning point? *Elsevier* <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.01.013>

- PEDRO RODRÍGUEZ-VEIGA, SHAUN QUEGAN, JOAO CARREIRAS et. al.(2019): Forest biomass retrieval approaches from earth observation in different biomes, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 77,2019, Pages 53–68, ISSN 1569-8432, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.12.008>.
- PEÑA-CLAROS, M. NOBRE, C. (2023) A regional approach to save the Amazon. *Science* 381, 1261-1261. DOI:10.1126/science.adk8794
- POPPENWIMER, T., MAYROSE, I. & DEMALACH, N.(2023): Revising the global biogeography of annual and perennial plants. *Nature* 624, 109–114 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06644-x>
- RBG KEW. (2016): The state of the world’s plants report— Royal Botanic Gardens.
- RBG KEW. (2023): The state of the world’s plants and fungi report—2023. Royal Botanic Gardens.
- SAMPAIO, GILVAN, et al.(2007): “Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion.” *Geophysical Research Letters* 34.17 (2007).
- SENANDE-RIVERA, M., INSUA-COSTA, D. & MIGUEZ-MACHO, G.(2025): Climate change aggravated wildfire behaviour in the Iberian Peninsula in recent years. *npj Clim Atmos Sci* 8, 19 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41612-025-00906-3>
- Biology, 27(22), 5684-5693. <https://doi.org/10.1111/gcb.15834>
- STEPHENS, T. (2023). The kunming–montreal global biodiversity framework. *International Legal Materials*, 62(5), 868-887.
- STUART L. PIMM AND LUCAS N. JOPPA (2015): “How Many Plant Species are There, Where are They, and at What Rate are They Going Extinct?,” *Annals of the Missouri Botanical Garden* 100(3), 170-176, (16 March 2015). <https://doi.org/10.3417/2012018>
- THOMAS E. LOVEJOY, CARLOS NOBRE (2018): Amazon Tipping Point. *Sci. Adv.*, eaat2340.DOI: 10.1126/sciadv.aat2340
- J. THOMPSON, A. CHARPENTIER, G. BOUGUET, F. CHARMASSON, S. ROSET, B. BUATOIS, P. VERNET, P. GOUYON (2013): Evolution of a genetic polymorphism with climate change in a Mediterranean landscape, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*110 (8) 2893-2897, <https://doi.org/10.1073/pnas.1215833110>
- VENTER, J.C. and COHEN, D. (2014), *The Century of Biology. New Perspectives Quarterly*, 31: 28-37. <https://doi.org/10.1111/npqu.11423>
- WADE, T. G., K. H. RIITTERS, J. D. WICKHAM, AND K. B. JONES. (2003): Distribution and causes of global forest fragmentation. *Conservation Ecology* 7(2): 7. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol7/iss2/art7/>
- WATSON, JAMES E.M. et al. (2016): Catastrophic Declines in Wilderness Areas Undermine Global Environment Targets *Current Biology*, Volume 26, Issue 21, 2929 – 2934 DOI 10.1016/j.cub.2016.08.049
- WIENS JJ (2023): How many species are there on Earth? Progress and problems. *PLoS Biol* 21(11): e3002388. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002388>

Miért változnak folyton a „kőbe vésett” állattani tudományos nevek?

Murányi Dávid

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Biológiai Intézet, Állattani Tanszék, Eger

muranyi.david@uni-eszterhazy.hu

Bevezetés – nevén nevezni

Egyetemi hallgatók, de a tudományos biológiai irodalmat használó gyakorlati szakemberek részéről is rendszeresen felhangzik a panaszos sóhajtás: “de minek az a sok latin?” Erre a taxonómusok rövid és elvágólagos válasza: “azért, mert az az egzakt, az univerzális és a stabil”. Ez persze csak pillanatnyi megnyugvást hoz, hiszen hamarosan szembesítenek minket azzal, hogy ezek a “kőbe vésett” tudományos (nem feltétlenül latin, lásd alább) nevek időnként megváltoznak. Erre a problémára szintén rövid válasz adható: azért változnak, mert a tudomány halad. Viszont ezt a választ kicsit jobban ki kell fejteni ahhoz, hogy értelmezhetővé váljon...

Abban mindenki egyet ért, hogy a biológiai kutatások egyik alapvető követelménye nevén neveznünk az adott élőlényt, amelynek rendszertani kapcsolataival, leszármazásával, ökológiájával, etológiájával, élettanával vagy akár bioindikációs értékével foglalkozni kívánunk. Ha mondjuk az emberrel, vagy például a lóval kívánunk foglalkozni, akkor persze kevesebb gondot okoz a faj tudományos nevének elhagyása, de már az olyan jól ismert, és relatíve kis fajszerű csoportok esetében is zavart okozhat, mint például a madarak. Nagyobb testű, vagy az ember számára bármilyen okból fontos állatokra a legősibb időktől fogva minden nyelven alkalmazunk különböző neveket. Viszont egy élőlényre egy adott nyelven számos eltérő nevet (népies neveket, tájneveket, költői neveket) is használhatnak. A hazai madarakat tekintve például a századfordulón megjelent két híres összefoglaló munka (Chernel 1899, Herman 1901) a *Merops apiaster* Linnaeus, 1758 mintegy kilenc magyar nevét sorolja fel, melyek közül Chernel István a gyurgyalag, Herman Ottó a piripió elnevezést használja a madár magyar nevéként. Ma már ezt a madarat Magyarországon mindenki gyurgyalagnak hívja, de ha valaki történetesen a piripió, esetleg a török fecske vagy a putypuruty elnevezést szeretné használni, akkor ezt különösebb következmények nélkül megteheti. Szemben a tudományos névvel, amelynek használatát nemzetközi kódex véli kőbe – a nevek megváltozásának szabályaival együtt.

Linnaeus 1758 - a tudományos nevezéktan alapköve

A tudományos nevezéktan kezdő dátuma 1758, ebben az évben jelent meg Carl Linné *Systema Naturae* című művének tizedik kiadása (Linnaeus 1758). Linné ebben a javított kiadásban alkotta meg a latin nyelvű kettős nevezéktant (binominális nomenklatura), és az élőlények faj feletti kategóriáinak értelmezését lehetővé tévő enkaptikus rendszerezést.

Linné óta minden ismert állatfajt kettős tudományos névvel illetünk, melyből az első szó a génusz (genus proximum), a második a faj neve (differentia specifica). Itt jegyzem meg, hogy a "latin nyelvű" nem feltétlenül latin szavakat jelöl, csak latin betűkkel leírt és latin nyelvtan szerinti használatot (pl. *leucocercia* (fehérfarkú) – ógörög szó latin ragozásban, vagy *mecsekensis* (mecseki) – magyar szó latin ragozásban). Ezért szerencsésebb a "tudományos név" terminus használata a "latin név" helyett. A Systema Naturae tizedik kiadásában szereplő 4162 faj nevét tekintjük a legrégebbi tudományos neveknek, az ennél korábban használt nevek nevezéktanilag nem érvényesek (persze, a szabályt kivétellel is erősíteni kell: a linnéi rendszert alkalmazó, de egy évvel korábban megjelent svéd pók-monográfiában (Clerck 1757) leírt 67 faj neve érvényes tudományos név). Bár a Systema Naturae óta történt néhány kiegészítés a kettős nevezéktan használatában, a két szóból álló tudományos név egyértelműen és az ország nyelvétől függetlenül ugyan azt a fajt jelöli az egész világon (pontosabban a névhordozó típuspéldányt, lásd alább). Az egyik kiegészítés az, hogy a kettős név az állattanban kiegészül a leíró/leírók nevével és a vesszővel elválasztott leírás évével, mint például a fentebb említett gyurgyalag tudományos neve: *Merops apiaster* Linnaeus, 1758. A másik kiegészítés az (egyre ritkábban használt) algénusz, illetve az alfaj nevének beillesztése a "kettős" névbe. Az előbbi zárójelben kerül a génusz és a fajnév közé, míg az utóbbi a fajnév után kerül, így például a szumátrai tigris teljes neve: *Panthera (Tigris) tigris sondaica* (Temminck, 1844) (hogy Temminck neve és az 1844-es év miért került zárójelbe, arról megint csak alább lesz szó).

A kettős nevezéktan mellett Linné másik nagy jelentőségű újítása az enkaptikus rendszerezés, azaz magában foglaló hierarchia alkalmazása volt. Ez annyit jelent, hogy az alacsonyabb rangú egységek elemei a magasabb rangú egységeknek, amelyeket az alacsonyabb rangú egységek közös, lényegi tulajdonságai alapján alapítunk meg. A rendszertani egységeket (például alfaj, faj, család, rend, osztály) taxonoknak hívjuk, és egy adott taxonban bennfoglalt alacsonyabb rangú taxonok közös leszármazását feltételezzük – mivel a rendszer evolúciós leszármazást tükröz. Linné természetesen még nem az evolúciós szemlélet jegyében alkotta meg rendszerét, ennek ellenére az enkaptikus hierarchia alkalmazásával értelmezhetővé tette az élők közös ősből való leszármazását. Az egymás fölé rendelt egységek rendszerét is igen találóan nevezte el: scala naturae.

Ugyan nem Linné vezette be, de a linnéi rendszer logikájából következik és hamarosan szükségessé vált egy harmadik fontos szabály, a típuspéldányok kijelölése. A típusok számos fajtája közül a nevezéktan szempontjából a névhordozó típuspéldányok a legfontosabbak, ezek a holotípus, a szüntípus, a lektotípus és a neotípus. A holotípus az az egyetlen példány, amelyet az új faj/alfaj leírásakor magában a leírásban kijelöl a leíró/leírók, mint névhordozót. Ha a későbbiekben bármiféle gond, kétely merül fel az adott faj/alfaj identitásával kapcsolat-

ban (például olyan morfológiai karakterről derült ki, hogy közeli rokon fajoktól elválasztó határozóbélyeg, amely az eredeti leírásban nincs részletezve), akkor ehhez a példányhoz kell visszanyúlni, ezt kell megvizsgálni. Az 1961-es év előtt nem volt kötelező a holotípus kijelölése, és ha ez nem történt meg, akkor minden olyan példányt, amelyet a leíró tanulmányozott a leírás elkészítéséhez, szüntípusnak nevezünk. Ha ilyen faj esetében merül fel kétség, akkor (indokolt esetben) a szüntípusok közül ki lehet jelölni egy lektotípust, amely attól kezdve a holotípus szerepét tölti be. A névhordozók pótolhatatlan értékek, pusztulásuk magának a névnek a használhatóságát veszélyezteti, így a névhordozót veszített taxon gyakran bizonytalan névként (*nomen dubium*, *species inquirenda*) használaton kívülre kerül. Ezt megelőzendő, esetenként lehetőség van neotípus kijelölésére: ekkor egy olyan, akár frissen gyűjtött példány válik névhordozóvá, amelyről biztosan állítható, hogy a leírásban szereplő fajhoz tartozik. A neotípus kijelölését a Kódex (lásd alább) szabályozza, és szigorú feltételekhez kötött. Megjegyzendő, hogy a faj feletti taxonoknak is vannak típusaik, így például a génusz típusfaj, a család típus génusz kijelölésével kerül leírásra.

ICZN – objektivitás és stabilitás vs. status quo

Bár a tudományos nevezéktan az objektivitást és stabilitást szolgálja, elég gyakran előfordul, hogy egy fajra, vagy valamilyen más rendszertani egységre használt tudományos név megváltozik – gyakran nem kis bosszúságára a vele foglalkozó szakembereknek, elsősorban az alkalmazott tudományok művelőinek. A változások oka az, hogy minden tudásunk (legalábbis a rendszertant illetően) nem más, mint status quo, amit az újabb kutatások gyakran felülírnak, módosítanak. A zűrzavart elkerülendő (hiszen a rendszer jobb megismerése az átláthatóságot segíti), a tudományos nevek adását és az új ismeretek megszerzésével szükségessé váló változtatásokat egy törvénykönyvhöz hasonló felépítésű nemzetközi kódex, az International Code of Zoological Nomenclature (ICZN – a továbbiakban csak Kódex) szabályozza.

A Kódexet a leírásra került fajok és egyéb taxonok számának gyors növekedése hívta életre (a 19. század végére Möbius (1898) már 400.000-ra becsülte az ismert fajok számát). Bár a nevek adásánál Linné kettős nevezéktanát követték, sok faj elkerülhetetlenül több néven is leírásra került, amelyek használata eleinte ugyan olyan szabályozatlan volt, mint a népies nevéké. Az első nevezéktani tanácskozásra 1889-ben az International Congress of Zoology ülésen került sor, ahol is lefektették a nevek használatára vonatkozó provizorikus szabályokat, de magára a Kódexra 1961-ig kellett várni. Jelenleg az ezredfordulón hatályba lépett negyedik kiadás (ICZN 1999), illetve annak a digitális taxonómiára vonatkozó 2012-es kiegészítése van érvényben.

Mielőtt a nevek megváltozásának három legfontos okát részletesen taglalnám, hadd mutassak be egy szűkebb szakterületemről vett példát arra, hogy tudásunk bővülése milyen sokféle okból hozhat változást a nevek használatában (1. ábra). A *Perla* génusz nagytestű, az alkalmazott kutatásokban is gyakran használt álké-részeket foglal magába. A kilencvenes évekig Magyarországról öt fajt ismertünk: *Perla maxima* (Scopoli, 1763), *P. bipunctata* Pictet, 1833, *P. burmeisteriana* Claassen, 1936, *P. marginata* Panzer, 1799, *P. pallida* Guérin-Méneville, 1843. Pontosabban, ezeket a neveket alkalmaztuk a hazai fajok megkülönböztetésére... Közülük ma csak egyet használunk, és négy faj hazai előfordulásában vagyunk biztosak. A *P. maxima* az ICZN döntése alapján a *P. marginata* használaton kívül helyezett szinoním neve (ICZN 1984 – lásd alább), arra a fajra pedig, amire a *P. maxima* nevet használtuk, a *P. grandis* Rambur, 1842 név alkalmazandó. És az is kiderült, hogy ez a faj nem él Magyarországon, a hazai példányok tévesen lettek határozva, hozzánk legközelebb a Kárpátok magasabb régióiban fordul elő. A *P. bipunctata* fajról az bizonyosodott be, hogy csak Nyugat-Európában él, viszont nálunk a Tisza felső szakaszán egy hozzá hasonló, egyelőre leíratlan faj él (*Perlas* sp. n. – species nova). A *P. burmeisteriana* valóban él Magyarországon, viszont ez a név egy félreértelmezett homonímia (lásd alább) miatt feleslegesen adott új név (nomen novum), helyette az eredeti *P. abdominalis* Burmeister, 1839 nevet kell alkalmazni. Valamint a szomszédos Ausztriából és Szlovéniából az ezredforduló után *P. carantana* Sivec & Graf, 2002 néven leírásra került egy közel rokon, addig fel nem ismert faj – nyugati határvidékeinken valószínűleg szintén előfordul, de még nem találtuk meg. A *P. marginata* az egyetlen hazai *Perla*, melynek neve sem változott és előfordulása is megerősítésre került. A korábban széles elterjedésűnek gondolt *P. pallida* viszont csak a Kaukázusban és Anatóliában élő fajnak bizonyult, a Kárpát-medencei populáció külön faj, amelyre az eddig a *P. pallida* szinoním neveként kezelt *P. dacica* Klapálek, 1907 alkalmazandó (megint csak: lásd alább). Délnyugati határainknál egy további leíratlan rokon, az egyelőre *P.*

<i>Perla maxima</i> (Scopoli, 1763)	>	<i>Perla grandis</i> Rambur, 1842
<i>Perla bipunctata</i> Pictet, 1833	>	<i>Perla bipunctata</i> Pictet, 1833
		<i>Perla</i> sp. n.
<i>Perla burmeisteriana</i> Claassen, 1936	>	<i>Perla abdominalis</i> Burmeister, 1839
		<i>Perla carantana</i> Sivec & Graf, 2002 ?
<i>Perla marginata</i> Panzer, 1799	>	<i>Perla marginata</i> Panzer, 1799
<i>Perla pallida</i> Guérin-Méneville, 1843	>	<i>Perla dacica</i> Klapálek, 1907
		<i>Perla pallida</i> Type 3 ?



1. ábra. A Magyarországról ismert *Perla* fajok listája - balra a 80-as évekbeli, jobbra a jelenlegi status quo.

pallida Type 3 néven szereplő faj is él, ami talán Magyarországról is előkerülhet.

A változások okai I. – szinonímia

A nevek megváltozásának okai közül talán a legfontosabb a szinonímia kérdése, azaz amikor két külön taxonnak (fajnak, vagy más rendszertani egységnek)

tartott állatról/állatcsoportról az újabb kutatások alapján kiderül, hogy mégsem különböznek. Ekkor, a prioritás elve szerint, azt a nevet kell alkalmaznunk rá, amelyet régebben adtak (senior szinoníma), és az újabb név kikerül a használatból (junior szinoníma). De indokolt esetben a régebbi helyett az újabb név is használatban maradhat (nomen protectum, azaz megőrzött név, a régebbi pedig nomen oblitum, azaz elvetett név) – ennek módjáról a Kódex rendelkezik, és az ICZN döntése szükséges hozzá. Erre példa a fenti *P. maxima* esete: a típuspéldányok alapján kiderült, hogy a *P. maxima* és a *P. marginata* név ugyan azt az állatot takarja, közülük a *P. maxima* a régebbi név. Azonban a két nevet már száz éve két jól ismert és biztosan elkülöníthető fajra használták. A szinonímia szabályai szerint az addig *P. marginata* néven ismert fajra a *P. maxima* nevet kellett volna alkalmazni, az addig *P. maxima* néven ismert faj megnevezésére pedig a legrégibb alkalmazható nevet újra érvényesíteni (a legtöbb Perla faj számos szinoním névvel rendelkezik). A *P. maxima* néven ismert faj elnevezésének megváltoztatása elkerülhetetlen volt (ez lett a *P. grandis*), a *P. marginata* néven ismert faj viszont megőrizte ezt a nevet, ahelyett, hogy meglehetősen zűrzavart okozva, a *P. maxima* nevet alkalmazták volna rá (ICZN 1984). De a szinonímia is csak status quo, újabb kutatások felülírhatják: erre példa a *P. dacica* esete, amelyet az utóbbi hatvan évben a *P. pallida* junior szinonímájaként kezeltünk, most pedig újra érvényes névvé válik.

Egy szinonímia lehet objektív vagy szubjektív szinonímia. Bár a szubjektív nem hangzik túl biztatóan, a szinoním nevek többsége ebbe a csoportba tartozik – hiába “szubjektív”, azért jó esetben nagyon is megalapozott döntésként. Az objektív szinonímia nem jelent mást, minthogy a két nevet (faj/alfaj esetében) ugyan az a típuspéldány, vagy (génusz/algénusz esetében) ugyan az a típusfaj alapján adták. Mindkét eset elég ritka, és főleg régi taxonoknál fordul elő.

A változások okai II. – átsorolás

A másik gyakori ok az átsorolás, azaz amikor egy faj (vagy alfaj) esetében az igazolódik be, hogy másik génuszba tartozik, mint ahogy addig gondoltuk. Ekkor a kettős név első tagja változik meg, illetve a fajnév végződése is megváltozhat, mert igazodnia kell a génusz nevének neméhez. Megint csak álkérészes példánál maradva (2. ábra), a ma *Perlodes microcephalus* (Pictet, 1833) néven ismert fajt F.J. Pictet eredetileg a *Perla* génuszba sorolta, így leírásakor a *Perla microcephala* Pictet, 1833 nevet kapta. Később a *Perla* génusz algénuszaként leírt *Dictyopteryx* Pictet, 1841 tagja lett: *Perla (Dictyopteryx) microcephala* Pictet, 1833. Majd a *Dictyopteryx* génusz rangra emelkedett, így lett *Dictyopteryx microcephala* (Pictet, 1833). Pictet neve és az 1833-as év a Kódex előírása szerint itt már zárójelbe került, ez jelzi, hogy a faj eredetileg más génuszban lett leírva – így járt a fent említett Temminck is, aki *Felis tigris sondaicus* néven írta le a szumátrai tig-

rist. A *Dictyopteryx* névről viszont a 20. század elején kiderült, hogy homonímia (lásd alább), a helyette adott új név pedig a *Perlodes* Banks, 1903 lett. Így a faj neve is ismét megváltozott, és a 20. század végéig *Perlodes microcephala* (Pictet, 1833) néven szerepelt az irodalomban – azonban a *Perlodes* génusz neme semleges, amelyhez a faj nevének hasonlulnia kell, ezért még egy utolsó (?) változást el kellett szenvednie, így lett *Perlodes microcephalus* (Pictet, 1833).

A megőrzött nevekhez hasonlóan, az ICZN átsorolás esetében is dönthet a Kódex előírásainak mellőzéséről. Erre kevés példa van, jelenleg a genetikai vizsgálatokban általánosan használt közönséges muslica nevének stabilizálása hozhat hasonló döntést. A muslica tudományos neve *Drosophila melanogaster* Meigen, 1830. Az ICZN egy korábbi döntése alapján a *Drosophila* Fallén, 1823 génusz típusfaja a *D. funebris* Fabricius, 1787 nevű legyecske (ICZN 2010), a *D. melanogaster* pedig a *Sophophora* Sturtevant, 1939 algénuszba tartozik. Ez még nem különösebb probléma, mert bár a korrekt megnevezése *Drosophila* (*Sophophora*) *melanogaster* Meigen, 1830, annyi lazaság még belefér a (nem kifejezetten taxonómiai tárgyú) tudományos irodalomba, hogy az algénusz nevét ne feltétlenül tüntesse fel. Újabb kutatások alapján felmerült viszont, hogy a *Drosophila* algénuszait génusz szintre kellene emelni, ekkor pedig menthetetlenül *Sophophora*

Pictet 1833: *Perla microcephala* Pictet, 1833

Pictet 1841: *Perla (Dictyopteryx) microcephala* Pictet, 1833

Brauer 1857: *Dictyopteryx microcephala* (Pictet, 1833)

Banks 1903: *Perlodes microcephala* (Pictet, 1833)

Uchida & Isobe 1989: *Perlodes microcephalus* (Pictet, 1833)



2. ábra. A *Perlodes microcephalus* (Pictet, 1833) névváltozásainak története – aláhúzva az aktuális változás.

melanogaster (Meigen, 1830) lenne a Kódex szerint alkalmazandó név.

A változások okai III. – homonímia

A harmadik ok a homonímia kérdése, azaz a megegyező nevek elkerülésének szükségessége. Az állatvilágban nem lehet két génuszt megegyező névvel illetni (állatot és pl. növényt igen), ezért, ha egy újonnan definiált génusz véletlenül olyan nevet kapott, amit Linné óta már használtak másik génusz megnevezésére, akkor annak új nevet kell kapnia. Az internet általánosan elérhetővé válásával, az ezredforduló táján, valóságos vadászat indult a homonímiák után, sportszerűtlenül könnyű publikálási lehetőséggel ajándékozva meg az erre szakosodott kutatókat. Ma már egyszerűen ellenőrizhetjük, hogy az adni kívánt génusznév foglalt-e, de azért még előfordul, hogy az ember nem elég körültekintő. Ezt sajnos saját hibámmal is tudom illusztrálni: pár évvel ezelőtt, kínai kollégámmal a Qinling-hegységben egy rendkívül érdekes új álkérészt találtunk, amely nemcsak a tudomány számára új fajt, hanem új génuszt is képviselt. A *Wuia qinlinga*

Li & Murányi, 2015 nevet kapta, melyből a fajnév a Qinling-hegységre utal, a *Wuia* nevet pedig Cheng-Fu Wu, a 20. század eleji kínai rovaratan meghatározó egyéniségének tiszteletére adtuk. A következő évben viszont azzal kellett szembesülnöm, hogy létezik egy *Heterodontus* (*Wuia*) Fowler, 1933 név (leírója Hsien-Wen Wu halbiológusnak dedikálta az algénuszt), ami ugyan pár év után a *Heterodontus* Blainville, 1816 szinoním nevei közé került, de ettől függetlenül foglaltta teszi a *Wuia* nevet (a *Heterodontus* a bikafejű cápák tudományos neve, ezek egyik faját tartotta Fowler algénusz szinten elkülönítendőnek a génusz többi fajától). Új nevet kellett tehát adnunk a génuszunknak, így ma a Qinlingben fogsott álkérész érvényes neve *Neowuia qinlinga* (Li & Murányi, 2015).

A faj neve általában akkor válhat homonímiává, ha másik génuszba sorolják át – ilyenkor előfordul, hogy abban a génuszban már szerepel egy megegyező fajnév, amely miatt az újonnan átsoroltnak új nevet kell kapnia. Erre adott példát az *Agnetina* Klapálek, 1907 álkérész génusz revíziója (Zwick 1984), amikor is a *Paragnetina brevipennis* Navás, 1912 nevű faj átsorolásra került, neve *Agnetina brevipennis* (Navás, 1912) lett. Az *Agnetina* azonban már tartalmazott egy *A. brevipennis* Klapálek, 1921 nevű állatot. Mivel a Navás által adott név a régebbi, a Klapálek által eredetileg is *Agnetina* fajként leírt állatnak kellett új nevet (nomen novum) kapnia, ez lett az *A. dubia* Zwick, 1984 (a *dubia* (=bizonytalan) név nem sok jót jelent: a faj típusai elvesztek és szűkszavú leírása nem teszi lehetővé azonosítását, ennek ellenére új nevet kellett neki adni). Meg kell még jegyezni, hogy bár a homonímia objektív dolog, előfordulhat szükségtelenül adott nomen novum is; erre példa a fentebb említett *Perla burmeisteriana* esete. Ezt a nevet Claassen (1936) a *P. abdominalis* Burmeister, 1839 helyett adta, mivel tudása szerint junior homonímja a *P. abdominalis* Guérin-Ménéville, 1838 nevű fajnak. Azonban Guérin-Ménéville műve több részletben, több év alatt került publikálásra, a *P. abdominalis* leírását tartalmazó oldalak például nem 1838-ban, hanem 1843-ban – tehát négy évvel később, mint Burmeister leírása. Ezért Burmeister neve a szenior homonímia, így a helyette adott nomen novum szükségtelen, ennél fogva érvénytelen név.

Összefoglalás – értelmezhetővé tenni

Mint látható, a “nevek változtatgatása” nem a taxonómusok unalmának elűzésére szolgál. Persze az emberi tényezőt még az olyan átgondolt szabályozás sem mindig tudja féken tartani, mint a Kódex rendelkezés- és javaslatrendszere – nem tagadhatjuk le, hogy a status quo néha szubjektív meggyőződést tükröz. Az elmúlt évtizedek nevezéktani változásainak nagy része azonban a finomodó és egyre összetettebbé váló vizsgálati módszereknek, elsősorban a molekuláris taxonómia gyors fejlődésének köszönhető. Nem felejthetjük el, hogy a rendszerezés (bár létrejöttét annak az igénynek köszönheti, hogy átláthatóvá tegyük a

fajok sokaságának leltárát) nem emberi logika által létrehozott rendszert, hanem az élővilág leszármazási kapcsolatainak rendszerét igyekszik megfejtetni. Ennek megfelelően, ha egy taxonról az derül ki, hogy nem valós leszármazási rokonságon alapul, akkor azt nem illethetjük tudományos névvel. Valamint azt sem felejtethetjük el, hogy a faj absztrakt fogalom, amelyet az adott időben (ma élő állatok esetében a jelenben) értelmezünk, míg a mai kor faj feletti kategóriái a múltban és a jelenben együttesen, az evolúciós idő egy hosszabb intervallumban értelmezhetőek. Így rendszerünk (a benne használatos tudományos nevekkel egyetemben) mégiscsak az élővilág természetes leszármazási kapcsolatairól megszerzett tudásunknak az ember számára értelmezhetővé, és a változatosság megnevezésére alkalmassá tett absztrakt rendszer marad. A tudás bővülésének kissé kellemetlen velejárója pedig a rendszerben szereplő tudományos nevek időnkénti megváltozása.

Irodalom

Chernel, I. (1899) *Magyarország madarai különös tekintettel gazdasági jelentőségökre*. II/b. Magyar Ornithologiai Központ, Budapest, 527 pp.

Claassen, P.W. (1936) New names for stoneflies (Plecoptera). *Annals of the Entomological Society of America*, 29(4): 622–623.

Clerk, C.A. (1757) *Aranei Svecici, descriptionibus et figuris aeneis illustrati, ad genera subalterna redacti, specibus ultra LX determinati*. Laurentii Salvii, Stocholm, 154 pp.

Herman, O. (1901) *A madarak hasznáról és káráról*. Magyar Királyi Földművelésügyi Minisztérium, Budapest, 279 pp.

International Commission on Zoological Nomenclature (1984) Opinion 1276 *Semblis marginata* Panzer, 1799 (Insecta, Plecoptera): Conserved. *The Bulletin of Zoological Nomenclature*, 41(1): 36–38.

International Commission on Zoological Nomenclature (1999) *International Code of Zoological Nomenclature*, Fourth Edition. The International Trust for Zoological Nomenclature, London, 306 pp.

International Commission on Zoological Nomenclature (2010) Opinion 2245 *Drosophila* Fallén, 1823 (Insecta, Diptera): *Drosophila funebris* Fabricius, 1787 is maintained as the type species. *The Bulletin of Zoological Nomenclature*, 67: 106–115.

Linnaeus, C. (1758) *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Tomus I. Editio decima, reformata. Laurentii Salvii, Holmi, 824 pp.

Möbius, K.A. (1898) Über den Umfang und die Einrichtung des zoologischen Museums zu Berlin. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 29: 363–374.

Zwick, P. (1984) Notes on the genus *Agnetina* (= *Phasganophora*) (Plecoptera: Perlidae). *Aquatic Insects*, 6(2): 71–79.

(M)ennyire bízhatunk a matematikában?

Juhász Tibor

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Matematikai és Informatikai Intézet, Eger

juhasz.tibor@uni-eszterhazy.hu

A bizonyosság és bizonytalanság szavak közül a matematikához inkább a bizonyosságot társítja a közvélemény. Ismert ugyanis, hogy a matematika egzakt tudomány, azaz „szabatos, pontos, egyértelmű és világos” fogalmakat használ, „ezzel jórészt kizárja, hogy a jelenségek megismerésében és magyarázásában önkényesség érvényesüljön”¹. „[...] nincs az az elvakult fundamentalista iszlám matematikus, aki össze tudna különbözni a bigott katolikus kollégával azon, hogy kétszer kettő az négy. Hogy négy-e.”² – Esterházy Péter ekként érzékelteti a matematika univerzalitását. Következő mondatával azonban kissé megingatja e stabilitást: „Legfőljebb gyanakodva visszakerdeznének, hogy hányas számrendszerben vagyunk”. Noha a kontextusból úgy sejlik, a számrendszer itt a nyelvi különbözőség metaforája, az esetleges kétségek eloszlátása végett érdemes megjegyezni, hogy a számrendszerek csak a számok megjelenítését befolyásolják, a műveletek eredményét nem. Ez esetben tehát marad a bizonyosság. E tanulmány arra mutat néhány példát, amikor a *jórészt* határozószó által hagyott résen át mégis beszivároghat a bizonytalanság.

Mi is valójában a matematika?

Már az az – első ránézésre – egyszerűnek tűnő kérdés, hogy mi a matematika, is örök vita tárgya. Számos lehetséges, olykor egymásnak ellentmondó válasz van rá, kezdve a klasszikus vélekedésekkel (platonizmus kontra empirizmus, logizmus, formalizmus, intuicionizmus, strukturalizmus stb.) olyan, néha igen merész, kortárs megközelítésekig, minthogy a matematika metaforák bonyolult hálózata³, vagy hogy tulajdonképpen pletyka⁴. A matematikáról alkotott filozófiai nézetek témaköre azonban nem tekinthető a matematika részének, ezért itt csupán egyetlen alapvető kérdést emelünk ki, Martin Gardner tolmácsolásában: „A csillagászat az emberi kultúra része, de a csillagok nem. Az igazán mély kér-

¹A magyar nyelv értelmező kéziszótára. arcanum.com (Utolsó megtekintés: 2025. 10. 24.)

²Esterházy Péter: A szavak csodálatos életéből. Digitális Irodalmi Akadémia. https://konyvtar.dia.hu/html/muvek/ESTERHAZY/esterhazy00484_kv.html (Utolsó megtekintés: 2025. 10. 24.)

³George Lakoff, Rafael E. Nuñez: Where Mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being. Basic Books, 2000.

⁴Keith Devlin: The Math Gene. How Mathematical Thinking Evolved and why Numbers are like Gossip. Basic Books, 2000.

dés az, hogy valamilyen értelemben a matematika objektumai, akár a csillagok, függetlenek-e az emberi elmétől.⁵ A különböző vélekedéseket Gardner a prímszámok példáján keresztül szemlélteti. Egy pozitív egész számot prímszámnak nevezünk, ha pontosan két (pozitív egész) osztója van: az egy és ön maga; ilyen szám például a 2, a 3, az 5 vagy a 7. Noha már Euklidész óta tudjuk, hogy végtelen sok prímszám létezik, a számítási kapacitás még napjainkban is gátat szab annak, hogy egy „kellően nagy” számról bizton megmondhassuk, hogy az prím-e vagy sem. Így minden pillanatban létezik egy „legnagyobb ismert prímszám”, amely ezen tanulmány írásakor a $2^{136\ 279\ 841} - 1$. Erről a 41 024 320 számjegyből álló egész számról 2024 októberében sikerült bebizonyítani, hogy prím⁶. Gardner értelmezésében „a realista habozás nélkül kimondja, hogy ez a szám akkor is prímszám volt, amikor az emberek még nem léteztek, és akkor is az lesz, amikor az emberi kultúra már megszűnik létezni”. A szociálkonstruktivista álláspont ezzel szemben azt hangsúlyozza, hogy „a prímszám tulajdonságnak nincs értelme az emberi elmén kívül. Amíg az emberek nem fedezték fel, hogyan kell számolni a külvilág egységeiben, nem volt lehetséges annak megállapítása, hogy a számok prímek vagy összetett számok-e. Ennélfogva, bizonyos értelemben, a $2^{136\ 279\ 841} - 1$ szám prím tulajdonságát a számítógép fedezte fel, annak ellenére, hogy az a szám nem volt »valóságos«, míg a társadalom létre nem hozta.”

A matematikai fogalmak hollétének problémája szépirodalmi művekben is fellelhető motívum. Borbély Szilárd a *Nincstelenek* című regény fülszövegében így vélekedik: „A számoknak ugyanis szintén vannak valóságvonatkozásaik. Van például az asztalon öt alma, de az öt fogalma nincs az asztalon. Csak annak a tudatában létezik, aki megszámlolja az almákat.”⁷ A műben a számok elképzelt világa az elbeszélő számára menedékként jelenik meg, mintegy kiutat kínálva az őt körülvevő, kietlen valóságból⁸; e megközelítés ugyanakkor jól rezonál azzal a kérdéssel, hogy a matematikai fogalmak önálló létezők-e, vagy csupán az emberi gondolkodás konstrukciói.

Megállapodások, jelölések

Az úgynevezett megállapodások – melyek között vannak szükségszerűek, valamint elsősorban kényelmi célokat szolgálók is – már a hétköznapi matematikahasználat szintjén is alkalmasak zavarkeltésre. Az első pillantásra hatosnak

⁵Martin Gardner: Mi is igazából a matematika? Vélemény Reuben Hersh könyvéről. Természet Világa, 129. évf. 3. sz. 1998. március, 126–127. o.

⁶https://en.wikipedia.org/wiki/Largest_known_prime_number (Utolsó megtekintés: 2025. 10.

⁷Borbély Szilárd: *Nincstelenek*. Kaligramm, 2013.

⁸Kolozsi Orsolya, Borbély Szilárd: *Nincstelenek*, Kortárs, 2013/11, 97. o. 24.)

tűnő kilences nyerőszám kihúzása azon a bizonyos lottósorsoláson televízió-nézők ezrei számára nosztalgikus élmény, míg manapság az olyan kifejezések pontos értékének meghatározása, mint a $8 \div 2(2+2)$ okoz élénk és parttalan vitát a közösségi médiában. Az előbbi esetben még helyben fény derült a tévedésre, az utóbbiban viszont nem triviális annak eldöntése, hogy kinek van igaza.

Az, hogy az összeadást a + szimbólummal jelöljük, nyilván nem logikai szükségszerűség, hanem egy világszerte ismert és elfogadott megállapodás, nemzetközi szabvány⁹. Ugyanezen rendelkezés szerint az osztást a : vagy a / jelöli, míg az ÷ (obelus) használata kerülendő; a mindennapi gyakorlatban azonban – például a számológépek osztás gombján – mégis fennmaradt. Van, aki szerint az ÷ egyszerűen csak a : vagy a / jel egy alternatív változata, és van, aki szerint törtvonalat helyettesít, de – lévén a jel kerülendő – nyilván ezen vélekedések egyike sem minősíthető „hivatalosnak”. Szintén kérdés, hogy mit kell tennünk a 2-vel és az őt követő (2+2) kifejezéssel. Valamilyen műveletnek itt is kell lennie. A szabvány szerint ez csak szorzás lehet, ugyanis a szorzás az egyetlen olyan művelet, melynek jele – *amennyiben nem okoz félreértést* – elhagyható. Nyilván az sem mindegy, milyen sorrendben végezzük el ezeket a műveleteket. Az általunk használt tankönyvek szerint a zárójelben lévő műveletek élveznek elsőbbséget, majd következik a hatványozás és gyökvonás, azután a szorzás és az osztás, végül pedig az összeadás és a kivonás. Az azonos erősségű műveleteket (pl. szorzás és osztás) balról jobbra haladva kell elvégezni. E műveleti sorrend már nem szabvány, hanem részben a műveleti tulajdonságok következménye, részben pedig (nem szabványosított) megállapodás (miért éppen balról jobbra, és miért nem jobbról balra?). A szóban forgó $8 \div 2(2+2)$ kifejezésben tehát ezen műveleti sorrend szerint először a zárójelben lévő összeadást végezzük el, így $8 \div 2(2+2) = 8 \div 2 \cdot 4$. Ha az ÷ jelet a szokásos osztás jeleként értelmezzük, akkor a balról-jobbra szabályt alkalmazva előbb az osztást, majd a szorzást kell elvégeznünk, és kapjuk, hogy $8 \div 2(2+2) = 8 : 2 \cdot 4 = 4 \cdot 4 = 16$. Ha viszont az ÷ törtvonalat helyettesít, akkor a „törtvonal alatt lévő” szorzásé az elsőbbség és

$$8 \div 2(2+2) = 8 \div 2 \cdot 4 = 8 / (2 \cdot 4) = 8 / 8 = 1.$$

Ez máris két eltérő eredmény, melyért a „kerülendő” obelus jel tehető felelősé. De obelus nélkül is lehet félreértés, ha valaki más műveleti sorrendet ismer (van például olyan koncepció is, miszerint a szorzás és az osztás közül a szorzást kell először elvégezni). Láthatjuk tehát, hogy csakúgy, mint a beszélt nyelveken, a matematika nyelvén is megfogalmazható többféleképpen értelmezhető kifejezés. A „beszélőnek” azonban itt is van lehetősége szándékának pontos kifejezésére. A szabványban van is javaslat erre: mindig használjunk zárójelet, ha

⁹ISO 80000-2:2019, Quantities and units, Part 2: Mathematics

fennáll a félreértés veszélye. Mi lenne, ha a feladat a $(8:2) \cdot (2+2)$, vagy a $8:(2 \cdot (2+2))$ formula értékének meghatározása volna? Nem lenne semmi látnivaló, vélhetően csupa jó válaszok születnének, ugyanis ezekben a formulákban a zárójelek egyértelműen mutatják az utat. A végső konklúzió tehát, hogy a feladatban szereplő formula ezen két előbbi kifejezés egyikének az alternatív alakja. Hogy melyiknek, annak csak az a megmondhatója, aki tudja, hogy a feladat kitűzője vajon mit ért az obelus jel alatt, illetve, hogy a zárójelek elhagyását milyen műveleti sorrendre alapozta.

Fogalomalkotás

Fentebb már felidéztük a prímszám fogalmát. A fogalomalkotás a matematikában alapvető jelenség. Célja általában objektumok lényeges jegyeinek meghatározása, melyek segítségével az objektum elkülöníthető azoktól, amelyek nem rendelkeznek e tulajdonságokkal. (Ez nem jelenti szükségképpen azt, hogy a gyakorlatban is képesnek kell lennünk eldönteni az adott tulajdonság teljesülését. Említettük, hogy bizonyos nagyságrend fölött már nincs minden esetben módszerünk annak megállapítására, hogy egy szám prímszám-e vagy sem. Viszont a számnak akkor is vannak pozitív osztói, ha nem tudjuk pontosan meghatározni, mely számok azok, és ha vannak, akkor azokat meg lehet számolni, és e számolás eredménye vagy kettő lesz, vagy nem.) Egy definíció akkor tekinthető „jónak”, ha vannak olyan objektumok melyekre teljesül a szóban forgó tulajdonság (vannak prímszámok, pl. 2, 3, 5, 7 stb.), és vannak olyanok is, melyekre nem (pl. 4, 6, 8 stb.), valamint, ha elkülönített objektumokról tudunk valami érdemi, hasznosítható állítást megfogalmazni (pl. hogy minden egynél nagyobb egész szám vagy prím, vagy felírható prímszámok szorzataként). Logikus követelmény továbbá, hogy egy definíció csak már „ismert” fogalmakra támaszkodjon. Valóban, a prímszám fogalma csak akkor értelmes, ha már tudjuk, mit értünk egész számok, valamint oszthatóság alatt. Ha megnézzük az oszthatóság definícióját, nos, abban is lesznek szavak, melyek jelentésére rá lehet kérdezni. Ahhoz, hogy megfékezzük e végeláthatatlannak ígérkező elmélkedést, bele kell törődnünk, hogy bizonyos, „érthetőnek tűnő” fogalmakat már nem definiálunk, hanem jelentésük precíz magyarázata nélkül használunk (bizonytalanság?). Ezek az úgynevezett „alfogalmak” végül azok lesznek, melyeket a matematikus társadalom széles köre akként fogad(ott) el. A geometriában ilyen a *pont*, az *egyenes*, a *sík*. Noha Euklidész még úgy írta, hogy „*pont az, aminek nincs része*”¹⁰; az ilyen meghatározások azonban inkább szemléltető jellegűek, mintsem valódi definíciók. A fogalomalkotás szükségszerűen tartalmaz tehát egy olyan mozzanatot, ahol a formális pontosságot az intuitív elfogadás váltja fel.

¹⁰Euklidész: *Elemek*. Gondolat 1983.

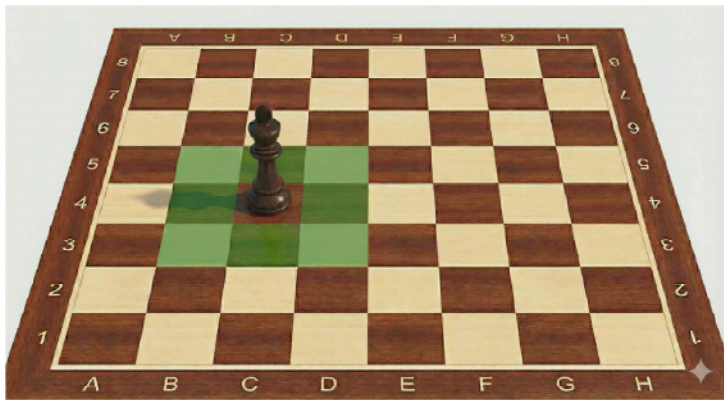
A prímszámok (fentebb közölt) fogalmához visszatérve megfigyelhető, hogy van benne némi önkényesség. Nevezetesen az, hogy a prímekeket a pozitív egész számok körében definiálja, és így nem rendelkezik arról, hogy a -2 prím vagy nem prím. Azt is mondhatnánk, hogy: egy pozitív egész számot prímszámnak nevezünk, ha pontosan két pozitív egész osztója van. Eszerint már a -2 is prím lenne, hiszen pozitív egész osztói az 1 és a 2. A kérdésre tehát, hogy prím-e a -2 , első körben kérdés a válasz. Milyen körülmények között? Mely definíció szerint? Mi a definíció kiterjedése („fölelendelt fogalom”)? És miért nincs ebben konszenzus? A kérdés tehát nem az, hogy melyik a „jó” vagy „jobb” meghatározás, hanem az, hogy mely környezetben, milyen célból kívánjuk használni a fogalmat. Első ránézésre, a második, általánosabb változat használata tűnik ésszerűbbnek, az első mellett pedig matematikatörténeti és didaktikai érvek szólnak: az volt először, és a tanítás során is azt mutathatjuk meg legkorábban. A választás joga a kezünkben marad, a szabadság okozta bizonytalanságot a körülmények előzetes tisztázásával oszlatjuk el.



Milyen alakzat látható a képen? Ez most komoly? Hát persze, hogy négyzet! Na de mit kezdünk azzal, ha valaki azt mondja, hogy téglalap? Igaza van, kétségtelen, hiszen – a „szokásos” definíció szerint – a négyzet speciális téglalap, nevezetesen olyan, melynek oldalai egyenlő hosszúságúak. Ekkor viszont a paralelogramma, a trapéz, a deltoid, a rombusz is mind jó válaszok. (Ha mégsem fogadjuk el őket, annak oka csak az a hallgatólágos „háttéregyezmény” lehet, hogy válaszként ilyenkor a „legpontosabb” meghatározást várjuk. E háttéregyezmény azonban már nem a matematika formális részéhez, hanem annak kommunikációs gyakorlatához tartozik.) Van azonban, aki úgy gondolja, ahhoz, hogy egy téglalap téglalap legyen, az is kell, hogy ne legyen négyzet, vagyis szerinte a téglalap olyan négyszög, melynek minden szöge derékszög, de nem minden oldala egyenlő hosszúságú... Akár így is lehetne, de itt van konszenzus: a matematikus társadalom a négyzet és téglalap közötti alá- és fölelendeltségi viszony megtartása mellett döntött.

A fogalmi választások következményei különösen látványosan jelennek meg a távolság és a kör fogalmának általánosításában. Kör alatt a sík azon pontjainak halmazát értjük, melyek a sík egy adott pontjától (középpont) adott távolságra (sugár) helyezkednek el. E definíció a sík, a pont, a halmaz és a távolság fogalmaira támaszkodik, melyek az utóbbi kivételével mind alapfogalmak. A geometriában két pont távolsága alatt a két pontot összekötő szakasz hosszát értjük. És már kezdődhet is a prímszámok fogalmánál szemléltetett „értetlenkedés”. Jó, de mi az, hogy szakasz, és mi az, hogy szakasz hossza? Ezen elmélkedés egy pontján eljutunk oda, hogy a távolság tulajdonképpen egy függvény, amely egy

adott halmaz (már nem feltétlenül sík) elempárjaihoz (ami már nem feltétlenül két pont) nemnegatív valós számokat rendel úgy, hogy bizonyos tulajdonságok teljesülnek. Ezen tulajdonságokba tapasztalati tények vannak belekódolva: két pont távolsága pontosan akkor 0, ha a két pont egybeesik; az A és B pontok távolsága pontosan annyi, mint a B és A pontoké, a harmadik pedig lényegében a háromszög-egyenlőtlenség. Ez, a geometriától már elrugaszkodott távolság-fogalom, a sík pontjain túlmenően más objektumok távolságának meghatározására is alkalmas. Például, ha egy sakktábla két mezőjének távolságán azt a legkevesebb lépésszámot értjük, mellyel a király az egyikből a másikba eljuthat, akkor eleget teszünk a definíció kívánalmainak, és e fogalomválasztás talán még logikusnak is tűnhet. És ha már van a sakktáblán távolság, akkor beszélhetünk a sakktábla egy adott mezőjétől adott távolságra lévő mezőinek halmazáról, azaz köréről. Íme a c4 középpontú 1 sugarú kör, ami nem igazán hasonlít az általunk megszokott körre...



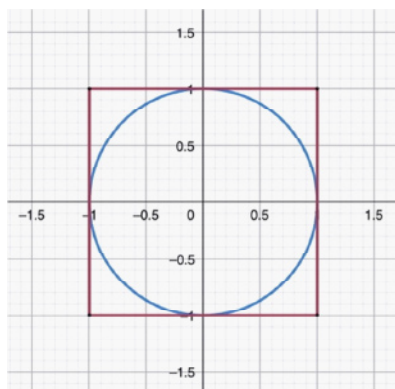
Ha a sík pontjaira koordinátaival hivatkozunk, akkor az $A(x_1, y_1)$ és $B(x_2, y_2)$ pontok távolságának meghatározására középiskolában megismert

$$d(A, B) = \sqrt{((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)}$$

képlet természetesen eleget tesz a definíció elvárásainak, de ez csupán egy lehetséges, és nem az egyetlen választási lehetőség. A sakktáblán értelmezett távolság által motiválva juthatunk el a

$$d^*(A, B) = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\}$$

függvényhez, melyről könnyen belátható, hogy *szintén* eleget tesz a távolság-függvénytől elvárt követelményeknek. Az alábbi ábrán a sík mindazon pontjait jelöltük be, melyek origótól való távolsága 1, kékkel a d , pirossal a d^* függvény szerint.



Ezek tehát origó középpontú, 1 sugarú „körök”. És ez akkor azt jelenti, hogy az eredeti kérdésünkre akár még a kör is jó válasz lett volna? Bizonyos körülmények között igen! E példák jól mutatják, hogy a matematikai fogalmak jelentése nem kizárólag intuitív képekhez kötődik. A fogalomalkotás szabadsága egyszerre forrása a matematika gazdagságának és a bizonytalanság látszatának. A félreértések elkerülésének kulcsa itt is a körülmények előzetes tisztázása.

Állítások és bizonyítások

A megállapodások és fogalmak tisztázása után a matematika központi tevékenysége már ismert igazságokból következtetni újabbakra. Ez jól meghatározott, szigorú keretek között zajlik, melynek köszönhetően a matematikai bizonyítások formális értelemben kényszerítő erejűek. Egy állítás bizonyítása során használhatjuk a logika levezetési szabályait, valamint mindazon állításokat, melyek igaz voltát már korábban elfogadtuk. A korábban igazolt állítások bizonyításai is ugyanilyen természetűek: már igaznak tekintett állításokra támaszkodnak, és így tovább. E gondolatmenet szintén nem folytatható a végtelenségig. Ahhoz, hogy az érvelési lánc elindulhasson (vagy véget érhessen), szükségképpen lennie kell néhány olyan állításnak, melynek igazságát bizonyítás nélkül fogadjuk el. Ezek az úgynevezett *axiómák*. Axióma például, hogy bármely két ponthoz van olyan egyenes, amely mindkét pontra illeszkedik. Gyakorlati oldalról nézve nincs okunk kételkedni ebben, ugyanakkor nem lehetünk megvetéssel azok felé sem, akik képtelenek elfogadni ezt. Jogukban áll akár az ellenkezőjét feltételezve felépíteni úgy egy elméletet. Az idézett axióma egyébként lényegében csak alapfogalmakat tartalmaz, azok között teremt kapcsolatot, némileg korlátozva ezzel az alapfogalmak definiálatlansága által nyújtott „látszólagos” szabadságot. A matematikában egy elmélet tehát alapfogalmakra és axiómákra épül (eddig a bizonytalanság) és azokhoz szól, akik az axiómák igazságát elfogadják.

Vegyünk egy tetszőleges egyenest és egy rá nem illeszkedő pontot! Az általuk meghatározott síkban húzzunk párhuzamost a ponton át az egyenessel! Hogy van ilyen párhuzamos, és hogy csak egyetlen ilyen van, igaznak tűnő kijelentések. Ezt Euklidész is így gondolhatta, bizonyítani azonban (a már korábban rögzített axiómákból kiindulva) csak a keresett párhuzamos létezését tudta, az egyértelműségét nem; végül ez utóbbit az axiómák közé sorolta (ez az ún. ötödik posztulátum, melyre ma már leginkább párhuzamossági axiómaként hivatkozunk). Lévén az állítás bonyolultabb, mint az axiómák általában, a posztulátum státusza mintegy két évezreden át foglalkoztatta a matematikusokat. Sokan kísérleteztek annak igazolásával, hogy a posztulátum egy bizonyítható állítást, tehát valójában nem axióma, hanem *tétel*, ám ezek a próbálkozások mind kudarccal végeztek. Voltak, akik indirekt bizonyítással próbálkoztak, azaz a posztulátum tagadását feltételezték. Szabályos logikai lépések útján egyre valószínűtlenebbnek tűnő tételeket kaptak, ellentmondásra azonban jutottak, ami legtöbb esetben szintén a munka feladását eredményezte. Bolyai János volt az első, de legalábbis az elsők egyike Gauss és Lobacsevszkij mellett, aki egy új, önmagában következetes geometriai elmélet lehetőségét ismerte fel ebben. „... *a semmiből egy ujj, más világot teremtettem*” – értékelte saját munkáját 1823. november 3-i keltezésű, édesapjának írt levelében. Van tehát az abszolút geometria, amely mellőzi a párhuzamossági axiómát, vagy más szóval, nem foglal állást annak érvényessége mellett. Az abszolút geometria axiómáit kiegészíthetjük akár a párhuzamossági axiómával (euklideszi geometria), akár annak tagadásával (hiperbolikus geometria), mindkét esetben egy logikailag lehetséges, ellentmondásmentes elméletet kapunk.

Az abszolút geometria e két utóbbi közös része, az abban érvényes tételek a párhuzamossági axiómától függetlenek. Nem ilyen a háromszögek belső szögeinek összege: az ugyanis hiperbolikus geometriában mindig kisebb, mint 180° , szemben az euklideszi geometriával, ahol, mint azt az iskolában megtanultuk, pontosan 180° . E történet annak szemléltetésére hivatott, hogy a matematikai bizonyosság nem az axiómák „igaz voltából”, hanem a belőlük levezetett állítások logikai törvényszerűségéből fakad. Egy állítás igazsága mindig egy adott axiómarendszeren belül értelmezhető.

Euklidész jól megérezte tehát, hogy az ötödik posztulátumnak, ha ragaszkodunk hozzá, akkor az axiómák között a helye. A posztulátum példa olyan, az abszolút geometria elméletén belül megfogalmazható állításra, mely az axiómák alapján se nem bizonyítható, se nem cáfolható. Ez – szakkifejezéssel élve – azt jelenti, hogy az abszolút geometria elmélete nem „teljes”. És akkor fölmerül a kérdés: vajon az euklideszi vagy a hiperbolikus geometria rendszere már teljes-e? A válasz az, hogy sajnos nem. Kurt Gödel forradalmi, ugyanakkor

meglehetősen destruktív eredménye szerint ugyanis minden „kellően gazdag”, ellentmondásmentes matematikai elméletben léteznek eldönthetetlen kérdések, amelyek új axiómák vagy új elméleti keretek bevezetését igénylik.

„The only man who makes no mistakes is the man who never does anything.”¹¹

A közoktatásban szerzett tapasztalatok alapján sokan azt gondolják, hogy a matematikai tudás nagy részét már az ókori görögök is ismerték. Ezzel szemben a helyzet az, hogy a matematika kutatása azóta is folyamatosan zajlik. A nemzetközi adatbázisok (pl. Scopus, Web of Science) adatai szerint a publikációkban mérhető teljesítmény évről évre növekszik, az egy évben megjelent cikkek száma a matematika területén mintegy 100 000 jelenleg, és azon matematikusok száma is körülbelül ennyi lehet világszerte, akik professzionálisan foglalkoznak a matematika kutatásával. Újabb és újabb elméleteket hoznak létre, az elméleteken belül tételeket fedeznek fel (állításokat fogalmaznak meg, melyet az elmélet axiómái és már ismert tételei alapján bebizonyítanak), vagy éppen a való világ problémáira a matematika eszközeinek segítségével keresnek megoldásokat. Ebben a munkában a számítógépek (a mesterséges intelligenciát is ideértve) kétségtelenül hasznosak lehetnek, a produktum azonban még mindig nagyrészt magas szintű (sokszor kivételes) mentális tevékenység eredményeképpen jön létre.

Viszont a matematikusok is emberek, így időnként ők is tévedhetnek. Feltételezhető, hogy eredményeiket csak minden részletre kiterjedő, gondos ellenőrzés után nyújtják be közlésre, és hogy a publikálási procedúra alatt a „tudomány kapuőrei”, a bírálók is résen vannak, mégis előfordulhat, hogy utólag derül fény valamilyen tévedésre. Ha fel szeretnénk használni egy közelmúltban megjelent eredményt, mennyire bízhatunk annak helyességében? Vannak-e erőforrásaink (idő, tudás stb.) az alapos ellenőrzésre, különösen a napjainkra jellemző, kompetitív környezetben?

Ha x, y pozitív egész számok, és $n > 2$ szintén egész, akkor x és y n -edik hatványainak összege nem lehet egy z pozitív egész szám n -edik hatványa, vagyis az $x^n + y^n = z^n$ egyenletnek a fenti feltételek mellett nincs megoldása. Pierre de Fermat 1637-ben vetette papírra e gondolatát, megjegyezve, hogy ezt bizonyítani is tudja. A bizonyítást azonban terjedelmi okokra hivatkozva nem közölte és később sem hagyta ránk, ezért az állítás igazolása az utókor feladatává vált. Az állítás 356 éven keresztül mindenféle bizonyítási és cáfolási kísérletnek ellenállt¹², míg-

¹¹Theodore Roosevelt

¹²Simon Singh: A nagy Fermat-sejtés, Park Könyvkiadó, Budapest, 2016.

nem 1993-ban Andrew Wiles¹³ munkája meghozta a várva várt áttörést. Wiles bizonyítása egy, a bejelentést követően fellelt hiba elhárítása után, 1995-ben, Richard Taylor¹⁴ közreműködésével vált teljessé, és a Fermat-sejtésként ismert állítás végül előléphetett tétellé. A megoldáshoz az út a moduláris elliptikus görbék elméletén keresztül vezetett, ami egy olyan témakör, melyet Fermat még nem ismerhetett. E történet alapján joggal merül föl a gyanú, hogy a Fermat által „elhallgatott” bizonyítás – ha egyáltalán létezett – minden bizonnyal hibás lehetett. De vajon a Wiles-féle bizonyítás rendben van-e? Terjedelme meghaladja a 100 oldalt, és olyan eszközöket alkalmaz, melyeket együttesen csupán matematikusok szűkebb köre ismer. Az alapos ellenőrzés még a szükséges háttértudás birtokában is oly mértékű időráfordítást igényel, melyhez a pusztá kíváncsiság aligha elegendő hajtóerő.

Túllépve ezen a klasszikus, széles érdeklődésre számot tartó és különösen komplex példán, vegyünk sorra néhány, matematikai bizonyítások alapos ellenőrzését megnehezítő tényezőt: nagy terjedelmű levezetés áttekintésének időigénye már önmagában is jelentős; a bizonyítás megértéséhez szükséges elméleti háttér gyakran messze túlmutat azon a szinten, ami a tétel megértéséhez és alkalmazásához elegendő; a szöveg tartalmazhat olyan összetett, részletezetlen következtetéseket, illetve olyan ki nem mondott konvenciókra támaszkodhat, melyek helyessége (a szerző és a szakterület specialistái számára nyilvánvaló, mások számára azonban) csak jelentős intellektuális erőfeszítéssel ítéltethető meg; a felhasznált korábbi tételek helyességét és alkalmazhatóságát szintén vizsgálni kell; végül pedig az olvasó könnyen azonosulhat a szerző intuíciójával és érvelési stratégiájával, ami elhomályosíthatja a kritikai távolságtartást, növelve annak kockázatát, hogy egy esetleges logikai vagy technikai hiba észrevétlen marad.

Általában elmondható tehát, hogy egy matematikai tétel elfogadása – különösen nagy terjedelmű, és mélyen specializált bizonyítás esetén – túlnyomórészt *bizalom* kérdése: bizalom a szerző(k), valamint mindazok szakmai munkája iránt, akik a bizonyítást már ellenőrizték.

Előfordulhat, hogy egy bizonyítottnak hitt matematikai állításról később kiderül, hogy hamis. Ez történhet egy ellenpélda (olyan példa melyre az állítás feltételei mind teljesülnek, de a konklúzió nem) felbukkanása révén. Ilyenkor az adott bizonyítás szükségképpen hibás. Az állítás „részben” megmenthető, ha kiderül, hogy legalább valamilyen speciális esetben (további feltételek bevonásával) igaz marad, illetve ha az eredeti feltételek mellett egy gyengébb, de még

¹³Andrew Wiles: Modular elliptic curves and Fermat's Last Theorem, *Annals of Mathematics*, vol. 141, no. 3, 1995, pp. 443–551. <https://doi.org/10.2307/2118559>

¹⁴Taylor, Richard, and Andrew Wiles: Ring-Theoretic Properties of Certain Hecke Algebras, *Annals of Mathematics*, vol. 141, no. 3, 1995, pp. 553–572. <https://doi.org/10.2307/2118560>

releváns következmény igazolható. Olyan is van, amikor fordított a helyzet: nem az állítás hamis voltára, hanem a bizonyítás valamely lépésének inkorrekttségére derül fény (Wiles első bizonyításával is ez történt). Ekkor az állítás a tétel státuszából sejtéssé degradálódik, vagyis mindaddig, amíg nem születik helyes bizonyítás – akár az eredeti érvelés módosításával, akár egy teljesen új konstrukcióval – vagy ellenpélda, az állítás igazságának kérdése nyitva marad.

„Amennyiben a kutatómunka során kiderül, hogy a korábban már közölt saját adat vagy következtetés hibás, illetve téves, a szerzőnek ezt – lehetőleg az eredeti közleményt közlő folyóiratban (periodikában) – haladéktalanul nyilvánosságra kell hoznia.”¹⁵ A Magyar Tudományos Akadémia Etikai Kódexének e rendelkezésétől a gyakorlat a matematikában némileg eltér: a nyilvánosságra hozatal jellemzően nem azonnal történik meg, hanem azt követően, hogy a szerzők kialakították álláspontjukat a hiba jellegéről és javíthatóságáról; ekkor rendszerint javító közleményt (erratum vagy corrigendum) jelentetnek meg. Bármely matematikai folyóiratot áttekintve megállapítható, hogy csak elvétve fordulnak elő ilyen típusú közlemények, az összes cikkhez viszonyított arányuk mindössze 1 százalék körüli. Ez azonban korántsem jelenti azt, hogy csak ilyen kevés hibát tartalmazó publikáció lenne. Számításba kell még venni azon eseteket is, amikor a szerzők már tudnak a hibáról, de azt valamilyen okból még nem hozták nyilvánosságra; amikor a hibát mások fedezik fel, és a szerzőket megkerülve, önálló publikációban vitatják az érintett eredményt; valamint azokat az eseteket is, amikor a hibát még senki sem észlelte. Feltételezhető továbbá, hogy olyan szerzők is vannak, akik esetleges presztízvesztéstől félve csak akkor adnak ki javító közleményt, amennyiben az elkerülhetetlenné válik. E ponton érdemes visszatekinteni e szakasz címére és hangsúlyozni, hogy a matematikában és – általában az elméleti tudományokban – az önkorrektció a tudományos kommunikáció természetes és elengedhetetlen része, mely alapvető szerepet játszik a hibák továbbterjedésének megakadályozásában.

Nem igazán tudjuk felmérni tehát, hogy a matematikai cikkek hány százaléka tartalmazhat a fő eredményt is érintő hibát, különösen, ha a cikkek frissebb megjelenésűek és/vagy még nem kellően ellenőrzöttek. A matematikai tudáskincs időnkénti felülvizsgálata és rendszerezése az eligazodásban sokat segíthet, ám területi okok miatt ez mindig csak egy-egy kisebb területre vonatkozhat. Ennek a munkának a természetes szinterei az adott terület szakértői által jegyzett monográfiák és szakkönyvek.

¹⁵A Magyar Tudományos Akadémia Tudományetikai kódexe, https://mta.hu/data/dokumentumok/kozerdeku_adatok/Tudomanyetikai_Kodex_2024_VEGLEGES.pdf (Utolsó megtekintés: 2025. 10. 27.)

Összegzés

A matematika a közgondolkodásban a bizonyosság mintaképe: olyan tudomány, amelyben az igazságok véglegesek. A fenti példák és megfontolások azonban kissé árnyalhatják e képet. Bár a matematikai következtetések formális logikája valóban kivételesen szigorú, az e következtetésekhez vezető út – a fogalomalkotás, az axiómaválasztás, a jelölések rögzítése, valamint a bizonyítások megalkotása, megértése és ellenőrzése – szükségképpen emberi tevékenység, amely magában hordozza a tévedés és a félreértés lehetőségét. A körülmények előzetes tisztázására minden esetben van lehetőség, a nagy terjedelmű és mélyen specializált bizonyítások egyéni ellenőrzése viszont gyakran korlátozott, ezért a matematikai eredmények elfogadása túlnyomórészt szakmai bizalomra épül. E bizalom azonban nem a kritika hiányát jelenti, hanem egy időben elnyúló, közösségi ellenőrzési folyamat működésében rejlik. A matematikai igazságra is érvényes ifj. Szántay Csaba gondolata: „A »tudományos igazság« a valóság olyan leírása, amit elég sokan megerősítettek olyan mértékben, hogy azt jelenleg igaznak hihetjük, de továbbra is nyitott a további megerősítésre vagy cáfolatra.” Ez a megfontolás a matematika esetében különösen érdekes, hiszen itt a formális bizonyosság és a közösségi ellenőrzés sajátos egyensúlya teremti meg a tudomány megbízhatóságát.

Dr. Jekyll és Mr. Hyde: a szőlő aszúsodása vagy szürkerothadása

Váczy Kálmán Zoltán

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Élelmiszertudományi és Borászati Tudásközpont, Eger
vaczky.kalman@uni-eszterhazy.hu

Bevezetés

A borszőlő (*Vitis vinifera*) és az emberiség kapcsolata több ezer évre nyúlik vissza, meghatározó szerepet betöltve gazdasági, kulturális, vallási és társadalmi szempontból. A szőlő betegségei évszázadok óta meghatározzák a termesztés sikerét, mivel közvetlenül befolyásolják a termés mennyiségét és minőségét, ezáltal a borászat gazdasági stabilitását is. A 19. században Európába behurcolt kórokozók – a lisztharmat (*Erysiphe necator*), a peronoszpóra (*Plasmopara viticola*), a feketerothadás (*Guignardia bidwellii*) és a filoxéra (*Daktulosphaira vitifoliae*) – járványszerűen terjedtek, alapjaiban alakítva át a kontinens szőlőkultúráját. A védekezés ekkor kapott tudományos alapot: a bordói lé felfedezése (Bailey és mtsai, 2024) mérföldkő volt a modern növényvédelemben.

A jelen tanulmány témájául szolgáló kórokozó gomba kutatási háttere, megítélése és a felé irányuló érdeklődés változó dinamikát mutatott az elmúlt évtizedekben. A Tokaj-hegyaljai Album megjelenése óta (Szabó, 1867), amikor leírásra került az aszúsodás és az aszúszem meghatározása, a kutatások elsősorban a borászati vonatkozásokat helyezték előtérbe, míg a szürke- és nemesrothadás kórokozójának vizsgálata egészen a legutóbbi időkig nem volt meghatározó a magyar szőlőnövényvédelmi kutatásokban.

A szőlő szürke- és nemesrothadásában meghatározó *Botrytis cinerea* az egyik legismertebb növényi kórokozó, kártétele szinte minden gazdaságilag kiemelt jelentőségű növény kultúrákban jelentős, amelyet globálisan évi mintegy 100 milliárd amerikai dollárra becsülnek (Canessa és Ferrari, 2025). A *B. cinerea* mint tipikus nekrotróf növénypatogén kiterjedt gazdasejt-elhalást idéz elő, hogy elősegítse a szövetek kolonizációját (Bi és mtsai, 2023), ezért a nekrotróf gombák kutatásának egyik kiemelt modellorganizmusává vált. Az omikai módszerek rohamos fejlődésének eredményeként ma már több teljes genom-szekvencia, egy rendkívüli részletességgel feltárt referencia-genom (Van Kan és mtsai, 2017) áll rendelkezésre, átfogó és részletekbe menő betekintést biztosítva a kórokozó és gazdanövényei molekuláris szintű kölcsönhatásaiba. Paradox módon ugyanakkor sajátos környezeti feltételek között ez egyetlen növényfaj esetében képes növelni gyümölcsének értékét: a szőlőbogyókban kialakuló nemes rothadás révén lehetővé válik a kivételes minőségű tokaji és sauternes-i borok előállítás.

A molekuláris és mikrobiális kölcsönhatások megismerése a nemesrothadás folyamatában nemcsak elméleti szempontból lehet érdekes, hanem gyakorlati

oldalról is segítheti a szakembereket a folyamat jobb megismerésén túl, az eredményesebb termés és termelés biztonság elérésében, a szüreti időpontok és megfelelő termesztéstechnológiai elemek kiválasztásában.

A *Botrytis* nemzetség és a *Botrytis cinerea*

A *Botrytis* nemzetség rendkívül sok fajt foglal magában, amelyek biológiai, ökológiai, morfológiai jellemzőikben és gazdanövény-spektrumukban jelentősen különböznek egymástól. Különösen a molekuláris genetika és a releváns filogenetikai markerek fejlődése révén az elmúlt években a nemzetségen belül mintegy 30 faj jellemzése történt meg, köztük hét új faj, egy hibrid és egy fajkomplex leírása (Walker, 2016). A *Botrytis* fajok számos gazdaságilag jelentős kertészeti és dísznövénykultúrában okoznak súlyos veszteségeket. A legtöbb kórokozó gazdanövényköre szűk, többnyire csak egyszikű vagy kétszikű növényeket fertőznek. Kivételt képez azonban a rendkívül széles gazdakörrel rendelkező *B. cinerea*, valamint a *B. pseudocinerea*, amelyről feltételezhető, hogy hasonlóan széles gazdanövény-spektrummal rendelkezik. Összességében a *Botrytis* spp. több mint 170 termesztett növénycsalád különböző fajait képes megfertőzni (Elad és mtsai, 2016), amelyek fenotípusosan rendkívül változatosak és egyre több bizonyíték utal arra, hogy egyes fajok tünetmentes endofitaként is jelen lehetnek a növényi szövetekben.

A *B. cinerea*, mint kórokozó

A *B. cinerea* által okozott növénybetegségeket az elmúlt 50 évben több tanulmány és összefoglaló mű is részletesen ismertette (Fillinger és Elad, 2016). A védekezéssel kapcsolatos szakirodalom jelentős része a biológiai védekezéstről szól, a kapcsolódó kutatások célja hatékony és gazdaságos biológiai stratégiák, valamint más kezelésekkel kombinálva eredményes integrált technológiák kialakítása. A *B. cinerea* ellen való védekezés legfontosabb eleme a kémiai fungicidek alkalmazása, ám a gombák rezisztenciájának gyors kialakulása miatt az egyre nagyobb dózisu felhasználás és egyre változatosabb hatóanyag alkalmazás válik szükségessé, amely környezeti és élelmiszerbiztonsági aggályokat is felvet (De Miccolis Angelini és mtsai, 2014).

A *B. cinerea* kifinomult penetrációs és fertőzési stratégiát fejlesztett ki és alkalmaz a növényi védekezési válaszok elnyomására, amelyben különböző enzimek, toxinok, reaktív oxigéngyökök, szekretált fehérjék és másodlagos metabolitok vesznek részt. A kémiai védekezés meghatározó elemei a fitoanticipinek és a fitoalexinek. A szalicilsav, a jázmonsav, az etilén, az abszcezinsav, a brasszinoszteroidok, az auxinok, a citokininek, a gibberellinek és a strigolaktonok mint fitohormonok együttesen vesznek részt a növényi válaszok szabályozásában és közvetítésében.

A szőlő szürke- és nemesrothadása

A *B. cinerea* a szőlő valamennyi zöld részét képes megfertőzni, azonban hűvös és csapadékos időjárási körülmények között a virágzás és az érés fázisában lévő fürtök teljes pusztulását idézheti elő, ami jelentős termésvesztéshez vezethet. A szürkerothadásos fertőzés következtében létrejövő változások nagyon sokrétűek: a cukortartalom, a must nitrogén és vitamin tartalma jelentősen csökken, miközben a borkősav oxidációja gyorsul. Mivel pektinbontó aktivitása is jelentős, ezért a szürkerothadásos szőlő mustjának pektin tartalma akár teljesen le is bomolhat (Magyar, 2011). A *B. cinerea* az erjedő bor fejlődését károsan befolyásoló poliszacharidok szintézisére is képes, amelyek rontják a bor szűrhetőségét, gátolják az alkoholos erjedést és fokozzák az ecetsav termelődést. A szürkerothadás mégis talán legsúlyosabb következménye a gomba által termelt lakkáz enzim aktivitása, melynek következtében a bogyó fenolos vegyületei kinonokká oxidálódnak. Fehér borok esetében ez barnulást, barna törést, keserű ízanyagokat, vörösborkokban a színanyagok lebomlását vonja maga után (Magyar, 2010). A szürkerothadást kísérő jelenséggként a bogyóban számos más penészgomba, élesztőgombák és ecetsavbaktériumok is fejlődésnek indulhatnak vegyes rothadást eredményezve, hozzájárulva a bogyó értékes anyagainak lebomlásához, kellemetlen íz- és illatanyagok kialakulásához.

A nemesrothadásos szőlőbogyókat évszázadok óta használják édes borok készítésére, ám az aszúbor előállítás módja egyedülálló: a hosszan tartó nemesrothadás után a bogyókat szemenként, kézzel gyűjtik. A nemesrothadás kialakulásának korai szakaszában két markáns változás figyelhető meg. A folyamat kezdetén (fajtától függően színváltozások), amelyet a héjban bekövetkező fizikai változások követnek. A kutikula mikrorepedései segítik a vízvesztést, amely a cukortartalom koncentrációjához vezet. Ezzel párhuzamosan számos biokémiai folyamat is lezajlik, többek között a cukoralkoholok mennyiségének növekedése, valamint különféle aroma-prekurzorok és illékony tiolok képződése. (Thibon és mtsai, 2010). Ezek a folyamatok összességükben járulnak hozzá a nemes rothadású borok karakteres aromaprofiljához.

A nemesrothadás kialakulásához több feltétel egyidejű teljesülése szükséges. A legfontosabbak, hogy az őszi nedves időjárás már a teljes érésben lévő, ép és sérülésmentes bogyókat érje, a nedves periódusokat pedig száraz, meleg napok kövessék. A kedvező folyamat kialakulását a szőlőfajta tulajdonságai, a művelésmód, a talaj összetétele, az évjárat sajátosságai és a termőhely kulturális hagyományai egyaránt befolyásolják.

Korábbi elképzeléseink szerint a szürke- és nemesrothadás közötti eltéréseket elsősorban a környezeti körülmények befolyásolják, míg a nemesrothadást a gomba anyagcseréje és a bogyó töppedésével járó fizikai folyamatok együttesen

alakítják ki. A nemesrothadás biokémiai folyamatai alapvetően megegyeznek a szürkerothadás során lezajlókkal, a legfőbb különbség pedig abban áll, hogy a túlérlett szőlő elfásodott fürtkocsánya miatt a töppedő bogyóból elpárolgó víz már nem pótlódik, így a bogyó beltartalmi anyagai koncentrálnak (Blanco-Ulate és mtsai, 2015). Az érett szőlőben ekkor már kialakul a fajtára jellemző cukor- és savtartalom, a „zöld” ízt okozó fenolos anyagok pedig lebomlanak. A koncentrálnálódás során egyre növekvő ozmotikus nyomás korlátozza a folyamatban részt vevő mikroorganizmusok növekedését és metabolizmusát (Cantu és mtsai, 2008). A felületi légmicélium képzés már minimális vagy akár teljesen hiányzik, a gombahifák az epidermisz alatt növekednek. A termés össz tömege és must mennyisége töredékére csökken, de mindez érzékszervi és borászati szempontból rendkívüli minőségjavulással jár együtt, a cukortartalom akár a 600 g/l értéket is meghaladhatja (Kallitsounakis és Catarino, 2020).

A nemesrothadás kialakulásának feltételei

A szürke- és nemesrothadásban betöltött meghatározó szerepe miatt különböző szőlőültetvények *B. cinerea* populációit széles körben tanulmányozták. Leírták, hogy a populációk szerkezetét befolyásolhatja a gazdaszervezet, a földrajzi eredet, a fertőzés típusa, a szaporodás, mutációk előfordulása, transzpozon elemek jelenléte és/vagy a génáramlás is (Campia és mtsai, 2017). Franciaország borvidékeiről származó izolátumok vizsgálata során kimutatták, hogy a populációk földrajzi sokfélesége összefüggésbe hozható a szürkerothadás és a nemesrothadás kialakulásával, amit befolyásolhat az éghajlat, a szőlőfajta, az évjárat, a termesztési eljárások és a szőlőbogyó mikrobiomjának együttese is (Blanco-Ulate és mtsai, 2015). Az, hogy egy adott évjáratban kialakul-e a nemesrothadás, az természetesen elsősorban a mikroklimatikus viszonyoktól függ.

A nemesrothadás szempontjából az ősz kritikus időszak, mivel a szüret során az aszúsodott szőlőbogyók gyűjtésének ideje szeptember közepe és november vége közé esik, ezért az időjárási viszonyok (pl. csapadék, páratartalom, átlaghőmérséklet) meghatározóak a nemesrothadás folyamatában (Ribéreau-Gayon és mtsai, 2005). Borászati tapasztalatok egyértelműen alátámasztják, hogy a Tokaji borvidéken a nemesrothadás szempontjából kedvező időjárási és mikroklimatikus feltételek elsősorban az ősz második felében jelentkeznek, ennek következtében a nemesrothadás kialakulása eredményesebben megy vagy mehet végbe a késői érésű szőlőfajtákon, mint a korai érésűeken. (Bene és Magyar, 2004; Magyar és Bene, 2006).

A nemesrothadás kialakulásának fizikai és kémiai paraméterei

Az előzőekben már tárgyaltuk a nemesrothadás kialakulását befolyásoló hatásokat és bár ezek a környezeti vagy éppen termesztéstechnológiai tényezők általánosságban ismertek, ugyanakkor magának a szőlőbogyónak a nemesrothadás során bekövetkező texturális vagy mikrobiális változásairól eddig kevés információnk volt. A szőlőbogyók texturáját korábban jellemzően az étkezési szőlőfajták esetében vizsgálták, mivel a roppanosság, rugalmasság, rágósság stb. az étkezés során fontos tulajdonságok (Rolle és mtsai, 2012). Rolle, illetve korábban Letaief (2008b, 2008a) különböző paraméterek felhasználásával vizsgálták a szőlőfajták közötti eltéréseket a bogyók texturája és héjának jellemzői alapján. Eredményeik szerint a módszer alkalmas a szőlőfajták elkülönítésére, ugyanakkor hatékonyan alkalmazható az érési dinamika és a szüret időpontjának előrejelzésére, valamint a héjban található fenolos vegyületek mennyiségének becslésére is. Carbajal-Ida és mtsai (2016) a Chenin blanc szőlőfajta fizikai-kémiai tulajdonságait vizsgálták a nemesrothadás során, és kimutatták a texturális jellemzőkben bekövetkező változásokat.

Az aszúbogyó érzékszervileg legfontosabb analitikai paraméterei a cukortartalom és savtartalom mellett az egyedi íz- és zamatanyagok. Ezen aromavegyületek prekursorai közé tartoznak a terpén és tiol prekursor vegyületek (Genovese és mtsai, 2007), valamint jelentős szerepet játszik a furfurol, benzaldehid, fenilacetaldehid és benzilcianid (Magyar, 2011b). A mézre, őszibarackra, egyéb gyümölcsökre emlékeztető illat kialakulásában kulcsszerepe van a δ -laktonoknak, az aszú egyedi karakterét valószínűleg a δ és γ laktonoknak eredményezik (Miklós és Kerényi, 2004). Már korábban azonosították a szotolon nevű (3-hidroxi-4,5-dimetil-2-(5)-furanon) laktont (Masuda és mtsai, 1984), ami mára már bizonyítottan marker vegyületté vált a nemesrothadásos borok elemzése során.

A nemesrothadásos fertőzés kialakulása során, a légmicélium hiánya miatt a gomba oxigén ellátottsága korlátozott, többek között erre vezethető vissza, hogy jelentősebb mennyiségű glicerín és glükonsav keletkezik a folyamatban. Mivel saját élettani folyamataihoz a glükonsav felhasználása a növekedés stacioner fázisában megszűnik, így az feldúsul a bogyóban, illetve az aszús mustokban. Ezek a vegyületek indikátorai az aszú mustnak, mivel az egészséges szőlő mustjában nem találhatók meg. A glicerín tartalom tovább növekszik az erjedés során, míg a glükonsav mennyisége már nem változik, így ezek a vegyületek kész borokban is indikátorként szolgálhatnak (Magyar, 2011b).

A fenolos vegyületek mennyisége is változik a nemesrothadás során, legtöbbjük (fenolsavak, stilbének, antocianinok és flavanoidok) a szőlőbogyó héjában halmozódik fel és bár az összpolicenol mennyiség csökken, azonban a stilbén vegyületek közül a rezveratrol, valamint a flavonoid vegyületek közül az epikatechin és katechin mennyisége növekszik (Blanco-Ulate és mtsai, 2015; Carbajal-Ida és mtsai, 2016)

Új megközelítések a botritizálódási folyamatok vizsgálatában

A növényekhez társuló mikrobiális közösségek rendkívül összetett diverzitása, valamint a mikroorganizmusok és a növények közötti kölcsönhatások komplexitása megnehezíti e rendszerek átfogó megismerését (Francioli és mtsai, 2018). A vizsgálni kívánt növényi mintákat korábban mikrobiológiai fekete doboznak (black box) nevezték a mikrobiális populációk nagy abundanciája és a jellemzősükkel kapcsolatos komplex kihívások miatt (Cortois és De Deyn, 2012).

A molekuláris biológiai módszerek fejlődése, a terepi alkalmazhatóság és a költségek csökkenése révén mára rutinszerűvé vált a növényi és talajmikrobiumok vizsgálata. Az új omikai technikák – a transzkriptomika, proteomika és metabolomika – kombinált alkalmazása e folyamatok komplex, integrált feltárását teszi lehetővé, korábban elérhetetlen részletességgel. Az omikai megközelítések önállóan is jelentős ismeretanyagot kínálnak, integráltan alkalmazva azonban lehetőséget nyújtanak arra, hogy a gombák növénykórtani vonatkozásait a génexpresszió, a fehérjeműködés és a metabolitprofil szintjén egyszerre, komplex módon tárjuk fel. A növényi gombakórokozók metabolomikai vizsgálatai még viszonylag újak számítanak, ám a kórokozók és az általuk okozott betegségek számos aspektusának feltárásában rejlő lehetőségeiknek köszönhetően alkalmazásuk gyors ütemben terjed és egyre nagyobb népszerűségnek örvend.

A transzkriptomika lehetővé teszi a génexpresszió mennyiségi és minőségi különbségeinek pontos azonosítását különböző mRNS-populációk összehasonlítása révén (Ozsolak és Milos, 2011). A fertőzéshez kapcsolódó génexpressziós mintázatok és az eltérő expressziós profilok vizsgálata kulcsfontosságú a kórokozók patogenitásának mélyebb megértéséhez, amely számos eltérő *in vitro* növekedési feltétel mellett nyer új értelmezést (Nilsson és mtsai, 2019). Az utóbbi években egyre több tanulmány számol be újgenerációs szekvenálási technológiák transzkriptomprofil-alkotásban való alkalmazásáról. Ilyen például a SO-LiD rendszer (Applied Biosystems, CA, USA) vagy a Genome Analyzer platform (Illumina, CA, USA), amelyek nagyságrendekkel képesek növelni a szekvenálási teljesítményt, miközben viszonylag alacsony költségkereten belül is működtethetők (Ansorge, 2009).

Új eredmények a szőlő botrizálódásának kutatásban

A *B. cinerea* a szürkerothadás kórokozójaként világszerte jelentős gazdasági veszteségeket okoz számos kultúrnövényben, köztük a szőlőben is, amelyet a nemesrothadás eredményezte aszúborok borászati jelentősége ellensúlyoz. A két rothadási forma mögött meghúzódó molekuláris és biokémiai mechanizmusok, valamint a folyamatokban részt vevő gének szerepe azonban mindeddig csak részben feltárt, a nemesrothadás biológiai háttere az ide kapcsolódó tanulmányaink megjelenéséig, pedig szinte ismeretlen volt.

Eredményeink azt mutatják, hogy a *B. cinerea* nemesrothadás során olyan génkészletet aktivál, amely egyaránt támogatja a bogyóhéj kolonizációjában és a gombával szembeni dominanciájában. A nemesrothadás specifikus génexpressziója magyarázza a cukor- és fehérjetartalom emelkedését, valamint az olyan aromatiszt metabolitok megjelenését, amelyek meghatározzák a botritizált borok érzékszervi tulajdonságait. Ezzel szemben a szürkerothadásban alacsonyabb metabolikus aktivitás figyelhető meg, a génexpresszió pedig elsősorban a növényi védekezési válaszok kijátszását és a fitotoxin-termelést szolgálja. Kimutattuk, hogy a szüreti időpont szintén befolyásolja a génexpressziós mintázatokat, ami gyakorlati szempontból a nemesrothadás optimális szüreti időpont választását segíti.

A funkcionális génkifejeződési mintázatok vizsgálata során feltártuk a mikrobák közötti kölcsönhatásokat is, amelyek a szőlőbogyó felszínén formálódó komplex közösségek dinamikáját alakítják. A *B. cinerea* szürkerothadásra jellemző gazdaspecifikus génjei egyértelműen alátámasztják, hogy káros rothadás elsődleges kiváltó ágensének tekinthető. Ugyanakkor a nemesrothadás kezdeti fázisai nagymértékű hasonlóságot mutatnak a szürkerothadással, s csak a teljesen kifejlődött nemesrothadás válik egyértelműen elkülöníthetővé, amit a gyengébb védekezési válaszok és a szekunder metabolizmus intenzív működése jellemez. Ezzel cáfoltuk azt a korábbi elképzelést, miszerint a nemesrothadás biológiailag inaktív nekrotikus állapotot jelentene, hiszen számos aktív élettani folyamat kimutatható, amelyek azonban a bogyók éréséhez és nem a szőlő védekezéséhez kapcsolódnak.

A szőlő védekezési mechanizmusainak feltérképezése azt mutatta, hogy a legerőteljesebb válaszreakciók a szürkerothadás során lépnek fel, ugyanakkor ezek kis hatékonyságúak, mivel a gomba nekrotróf életmódjából fakadó virulenciafaktorok segítik a gomba térnyerését. Ez alátámasztja a *B. cinerea* kettős, biotróf és nekrotróf életmód közötti váltakozását, amely új megközelítési lehetőségeket kínálva a gyakorlati növényvédelmi és a szőlészeti technológiák fejlesztése számára.

Kísérleteinkben először igazoltuk a szüreti hónapok hatását a *B. cinerea* micéliumnövekedésére és morfológiai változatosságára, amely szoros összefüggést mutatott a botritizáció ütemével. Az évjárat hatások és a szüreti hónapok tehát közvetlenül befolyásolják a nemesrothadás előfordulását és minőségét. A botritizáció kezdetét szemmel látható texturaváltozások, későbbi fázisait pedig a borminőség szempontjából meghatározó kémiai átalakulások jellemzik. A transzkriptomikai vizsgálatok szerint a *B. cinerea* génexpressziós mintázatai négy egymást követő nemesrothadásos fázisban jól nyomon követhetők, és főként a korai szakaszokban játszanak szerepet a szőlőbogyók texturális változásaiban.

A nemesrothadásos folyamatban a bogyóhéj lebomlása és a bogyókeménység csökkenése fontos minőségi indikátor. A gomba sikeressége részben annak köszönhető, hogy olyan géneket fejez ki, amelyek a környezeti dominanciát szolgálják, például a szulfát-hasznosítás képességét vagy antimikrobiális anyagok termelését. A metatranszkriptomikai vizsgálatok emellett rávilágítottak, hogy a *B. cinerea* mellett más fonalas gombák és élesztők is meghatározóak az aromaanyagok, prekursorok, antioxidánsok és detoxifikációs vegyületek szintézisében. Az aromás aminosavak és származékaik, a glutation-eredetű vegyületek, a lipidszármazékok, valamint a terpének mind központi szerepet játszanak a bor illat- és ízprofiljának kialakításában, míg a szénhidrát- és citrátciklushoz köthető enzimek a vajasságért, a sav-bázis egyensúlyért és a színstabilitásért felelnek. Eredményeink alapján a botritiszes borok jellegzetes érzékszervi tulajdonságai nem kizárólag a *B. cinerea* tevékenységéből, hanem a bogyón kialakuló mikrobiális közösség egészének funkcionális aktivitásából fakad.

Irodalom

1. Ansorge, W.J. (2009) „Next-generation DNA sequencing techniques”, *New Biotechnology*, 25(4), o. 195–203.
2. Bailey, S.L. és mtsai. (2024) „A history of strategies and a tapestry of triumphant tales in tackling plant fungal diseases”, *Plant Pathology*, 73(7), o. 1619–1628.
3. Bene, Zs. és Magyar, I. (2004) „Characterization of yeast and mould biota of botrytized grapes in Tokaj wine region in the years 2000 and 2001”, *Acta Alimentaria*, 33(3), o. 259–267.
4. Bi, K. és mtsai. (2023) „Killing softly: a roadmap of Botrytis cinerea pathogenicity”, *Trends in Plant Science*, 28(2), o. 211–222.
5. Blanco-Ulate, B. és mtsai. (2015) „Developmental and metabolic plasticity of white-skinned grape berries in response to Botrytis cinerea during noble rot”, *Plant Physiology*, o. pp.00852.2015.
6. Campia, P. és mtsai. (2017) „Genetic structure and fungicide sensitivity of Botrytis cinerea populations isolated from grapevine in northern Italy”, *Plant Pathology*, 66(6), o. 890–899.
7. Canessa, P. és Ferrari, S. (2025) „Editorial: Molecular interactions and control strategies for Botrytis cinerea in crop production”, *Frontiers in Plant Science*, 16, o. 1624296.
8. Cantu, D. és mtsai. (2008) „Strangers in the matrix: plant cell walls and pathogen susceptibility”, *Trends in Plant Science*, 13(11), o. 610–617.
9. Carbajal-Ida, D. és mtsai. (2016) „Physico-chemical properties of botrytised Chenin blanc grapes to assess the extent of noble rot”, *European Food Research and Technology*, 242(1), o. 117–126.

10. Cortois, R. és De Deyn, G.B. (2012) „The curse of the black box”, *Plant and Soil*, 350(1–2), o. 27–33.
11. De Miccolis Angelini, R.M. és mtsai. (2014) „Occurrence of fungicide resistance in populations of *Botryotinia fuckeliana* (*Botrytis cinerea*) on table grape and strawberry in southern Italy”, *Pest Management Science*, 70(12), o. 1785–1796.
12. Elad, Y. és mtsai. (2016) „Plant Hosts of *Botrytis* spp.”, in S. Fillinger és Y. Elad (szerk.) *Botrytis – the Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems*. Cham: Springer International Publishing, o. 413–486.
13. Fillinger, S. és Elad, Y. (szerk.) (2016) *Botrytis – the Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems*. Cham: Springer International Publishing.
14. Fournier, E., Gladieux, P. és Giraud, T. (2013) „The ‘Dr Jekyll and Mr Hyde fungus’: noble rot versus gray mold symptoms of *Botrytis cinerea* on grapes”, *Evolutionary Applications*, 6(6), o. 960–969.
15. Francioli, D. és mtsai. (2018) „Dynamics of Soil Bacterial Communities Over a Vegetation Season Relate to Both Soil Nutrient Status and Plant Growth Phenology”, *Microbial Ecology*, 75(1), o. 216–227
16. Genovese, A. és mtsai. (2007) „Sensory properties and aroma compounds of sweet Fiano wine”, *Food Chemistry*, 103(4), o. 1228–1236.
17. Kallitsounakis, G. és Catarino, S. (2020) „An overview on botrytized wines”, *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 35(2), o. 76–106.
18. Letaief, H. és mtsai. (2008) „Assessment of grape skin hardness by a puncture test”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(9), o. 1567–1575.
19. Letaief, H., Rolle, L. és Gerbi, V. (2008) „Mechanical Behavior of Winegrapes under Compression Tests”, *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(3), o. 323–329.
20. Magyar, I. (2010) „Borászati mikrobiológia”, *Mezőgazda Kiadó*, Budapest [Preprint].
21. Magyar, I. (2011a) „Botrytized wines”, *Advances in food and nutrition research*, 63, o. 147–206.
22. Magyar, I. (2011b) „Botrytized Wines”, in *Advances in Food and Nutrition Research*. Elsevier, o. 147–206.
23. Magyar, I. és Bene, Zs. (2006) „Morphological and taxonomic study on mycobiota of noble rotted grapes in the Tokaj wine district”, *Acta Alimentaria*, 35(2), o. 237–246.
24. Magyar Ildikó. (2010) *Borászati mikrobiológia*. Budapest: Mezőgazda.
25. Masuda, M. és mtsai. (1984) „Identification of 4,5-Dimethyl-3-hydroxy-2(5)-furanone (Sotolon) and Ethyl 9-Hydroxynonanoate in Botrytised Wine and Evaluation of the Roles of Compounds Characteristic of It”, *Agricultural and Biological Chemistry*, 48(11), o. 2707–2710.
26. Miklósy, É., Kalmár, Z. és Kerényi, Z. (2004) „Identification of some characteristic aroma compounds in noble rotted grape berries and aszú wines from Tokaj by gc-ms”, *Acta Alimentaria*, 33(3), o. 215–226.

27. Nilsson, R.H. és mtsai. (2019) „Mycobiome diversity: high-throughput sequencing and identification of fungi”, *Nature Reviews Microbiology*, 17(2), o. 95–109.
28. Ozsolak, F. és Milos, P.M. (2011) „RNA sequencing: advances, challenges and opportunities”, *Nature Reviews Genetics*, 12(2), o. 87–98.
29. Ribéreau-Gayon, P. és mtsai. (2005) *Handbook of Enology: The Microbiology of Wine and Vinifications*. 1. kiad. Wiley.
30. Rolle, L. és mtsai. (2012) „CIEL*a*b* parameters of white dehydrated grapes as quality markers according to chemical composition, volatile profile and mechanical properties”, *Analytica Chimica Acta*, 732, o. 105–113.
31. Szabó, J. (1867) *Tokaj-Hegyaljai Album*. Pest: Emich Gusztáv.
32. Thibon, C. és mtsai. (2010) „Aromatic potential of botrytized white wine grapes: Identification and quantification of new cysteine-S-conjugate flavor precursors”, *Analytica Chimica Acta*, 660(1–2), o. 190–196.
33. Van Kan, J.A.L. és mtsai. (2017) „A gapless genome sequence of the fungus *Botrytis cinerea*”, *Molecular Plant Pathology*, 18(1), o. 75–89.
34. Walker, A.-S. (2016) „Diversity Within and Between Species of *Botrytis*”, in S. Fillinger és Y. Elad (szerk.) *Botrytis – the Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems*. Chatm: Springer International Publishing, o. 91–125.



Kadarka szőlőfürt, az aszúsodás különböző fázisaiban lévő nemesrothadósos szőlőszemekkel (a szerző felvétele).

Bizonyosságok a magyarság őstörténetében, bizonytalanságok az interpretációban

Bernert Zsolt

Magyar Természettudományi Múzeumger

foigazgatosag@nhmus.hu

*„Egyszóval nyelvünk ősi és modern, erdei-mezői és városi, ázsiai és európai.
Mi is ősieik és moderneik vagyunk, európai magyarok.”*

József Attila

A nagy eurázsiai sztyeppe nyugati végpontját jelentő Kárpát-medencében élő magyarság népi rokonságtudata, önmeghatározása és eredetlegendái szempontjából legmeghatározóbbak a „napkeleti” íjészítő lovas népek. A sztyeppei lovas nomád kifejezés nem pontos, hiszen a földművelés és a fémművesség miatt a közösség jelentős része állandó településeken élt. E népek közül három nem csupán megtelepedett a Kárpát-medencében, de központjául választva azt, olyan államalakulatot hozott létre, amely jelentősen befolyásolta a középkori Európa történetét. Ők voltak a hunok, az avarok és a magyarok. E népek a Nyugat számára szinte a teljes ismeretlenségből léptek az európai történelem színpadára.

Kiemeli a honfoglalók és az államalapító Árpádok teljesítményét, hogy országuk több mint 1100 éve áll fenn a Kárpát-medencében. A magyarság nyugati integrációja olyan sikeres volt, hogy Magyarország évszázadokra a nyugati kereszténység védőbástyájává vált a mongol és török támadások idején. A Kárpát-medence természetföldrajzi adottságainak köszönhetően a magyar népesség életmódja átalakult, de nyelvét, keleti gyökereit megőrizte. Jelenleg Európában a magyar a legnagyobb, nem indoeurópai nyelvet beszélő népesség. A magyar írók, művészek munkáiban rendre feltűnik a Kelet és a Nyugat szintézisére való törekvés, példaként Ady Endre, Arany János, Bartók Béla, József Attila vagy Munkácsy Mihály említhető.

A tudósok számára is komoly fejtörést okoz a honfoglalás előtti korai magyar történelem, a magyarság őstörténetének felfejtése. A kérdéssel több tudományterület foglalkozik. Az írásos forrásokat történészek és nyelvészek elemzik, az időnek ellenálló tárgyakat és jelenségeket pedig a régészek tanulmányozzák. Az egykor élt emberek ásatásokon előkerült csontjainak vizsgálatával az antropológia és a történeti genetika foglalkozik. Ahogy a tárgyak sem árulják el a régészeknek, úgy a csontvázak sem az antropológusoknak, hogy tulajdonosuk milyen nyelven beszélt, milyen néphez tartozónak vallotta magát, de a leletek az

egykori életről, a lakosság származásáról annál többet mesélnek. Egy új tudomány, a történeti genetika gyors fejlődésének és a szaporodó régészeti feltárásoknak köszönhetően egyre tisztábban látjuk történelmünket.

Az új ismeretek birtokában a honfoglalók eredete, nyelve, a honfoglalást megelőző szállásterülete és a honfoglalás időpontja is új megvilágításba került ez elmúlt évtizedben.

Az elmúlt 1–2 év tudományos újdonsága, hogy a mai uráli nyelvű népek ősei a bronzkort megelőző időszakból a Bajkálon túlról származnak, jóval keletebből, mint azt korábban gondoltuk.

A genetikai kutatások megerősítették, hogy a honfoglaló magyar törzsszövetség több földrajzi régióból származott. Az Altaj-Bajkál-vidék, az ázsiai sztyepp terület és a Kaukázus is fontos szerepet játszott a honfoglaló magyar törzsszövetség kialakulásában. Az Árpádok és Abák apai vonalainak az eredete is az Altaj-Bajkál régióra, míg legközelebbi ma élő kapcsolataik a Volga-Urál vidékre mutatnak.

A korai magyarokhoz kapcsolható régészeti műveltség (kuszarenkovói kultúra) a Kr.u. 5–6. századból kimutatható az Uráltól keletre.

Tudjuk, hogy a magyarok a Volga és a Dnyeszter közötti 1000 km-t gyorsan tették meg és valamikor csak a 9. század első harmadában hagyták el a Volga-Urál vidéket.

A régészek és a genetikusok egyaránt úgy látják, hogy nagy magyar tömbök maradtak az Ural mentén, a mai Baskíria területén.

Ma már tudjuk, hogy a 860-as évektől magyar harcosok feltűntek a Kárpát-medence nyugati szegletén is katonai akciók keretében, továbbá azt is, hogy maradtak magyarok Etelközben, amely a 10. század derekáig magyar befolyás alatt maradt.

Nagy kérdés, hogy a fenti ismeretek alapján, miképp rekonstruálható a magyarság honfoglalás előtti története.





Amerika vagy Újvilág? Bizonytalan körvonalak a 16. századi világtérképeken

Török Zsolt Győző

ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet, Budapest

zoltorok@inf.elte.hu

Bevezetés: földrajzi felfedezések és bizonytalan világtérképek

A reneszánsz földrajzi világtérképét a nagy földrajzi felfedezések történelmi folyamatai alakították. A középkor végi kezdetek, a tapogatózó vagy véletlen, jobbra gyorsan feledésbe merült felderítőutak után ez a folyamat a 15. század elejétől szakaszosan váltakozó, de egyre erősebb lendületet vett. Bár a cél a mesés Kelet, az Indiák elérése maradt, a felfedezőutak fókuszsa a geopolitikai helyzet változása, az ellenséges, iszlám területen való áthaladás nehézségei miatt egyre erőteljesebben tolódott nyugatra.

A nagy óceáni felfedezőutak első időszaka az Atlanti-óceán – a korabeli földrajzi irodalomban a Nyugati-óceán – kutatását jelentette a legkedvezőbb keleti útvonal megtalálása érdekében. A gyorsan kialakuló versenyben természetes helyzetük miatt előnyt élvező ibériai országok mellett a korábbi keleti közvetítő kereskedelemről profitáló itáliai hatalmak, és a feltörekvő német kereskedők is igyekeztek részt venni. Azonban a nagy távolságú, óceáni felfedezőutak finanszírozása olyan jelentős gazdasági teher volt, ami miatt a földrajzi koncepciók és a navigációs térképek kiemelten fontos szerepet játszottak a diskurzusokban. A felfedezőutak tervezéséhez ugyanis földrajzi térképeket használtak, míg az utak során hajózási térképekkel navigáltak, a felfedezések eredményeit is ezeken ábrázolták. Azonban a nagy óceáni hajóutakon a szárazföldek egy-egy pontját érték el, a kutatóutak csak rövid partszakaszokat tettek rekonstruálhatóvá. A rendelkezésre álló kevés információból csak nagyon bizonytalan földrajzi világtérképeket lehetett alkotni, amelyeknek egyes alapelemeit az ókori geográfiából vették át.

Kolumbusz földrajzi világtérképe

Kolumbusz 1492-es felfedezőútja, Amerika felfedezése mára a világtörténelem egyik legnagyobb hatású eseményévé vált. Azonban az Óceán-tenger Admirálisa élete végéig úgy gondolta, hogy az Újvilágot, Ázsia ismeretlen részét érte el... A következőkben röviden áttekintjük azokat fontosabb korabeli földrajzi nézeteket, amelyeket mind Kolumbusz, mind tervének ellenzői felhasználták saját érvelésükben. A közhiedelemmel ellentétben, ezekben a körökben a Föld gömb alakja ekkoriban már általánosan ismert, azaz bizonyos tudás volt. A vita

valójában a hajóút gyakorlati végrehajthatóságáról, tulajdonképpen a tervezett út hosszáról folyt, amelyet nem lehetett elméleti úton eldönteni. Kolumbusz korának gyermeke volt, így földrajzi világképét is a reneszánsz eszmeáramlatai alakították. Mivel életének első fele a kutatások ellenére nagyrészt homályban maradt, nem tudjuk, mikor és hol tanult. Azonban az bizonyos, hogy írástudó ember volt, aki latinul olvasta a korszak legfontosabb földrajzi és csillagászati műveit és talán az ókori klasszikusok némelyikét is. Ez egy korabeli tengerész esetében mindenképpen kuriózum, mivel a hajózás elsősorban tapasztalatot és gyakorlati tudást követelt. Azonban feltételezhető, hogy Kolumbusz saját tudását és a másoktól hallottakat és a tudósok véleményét egyaránt megfontolva igyekezett képet alkotni a világról. Az a javaslata, hogy a mesés Keletet nyugati úton kellene elérni, azonban – annak ellenére, hogy még többeknek, például Martin Behaimnak is eszébe jutott – mégis nagy ellenállásba ütközött. Ennek azonban – a közeltű vélekedéssel szemben – nem az volt az oka, hogy a korona által kinevezett bizottság tagjai vitatták, hogy a Föld gömb alakú, így nyugat felé hajózva végül keletre juthatunk. A kifogások nem elméleti, hanem gyakorlati szempontból vonták kétségbe a hajóút megvalósíthatóságát.

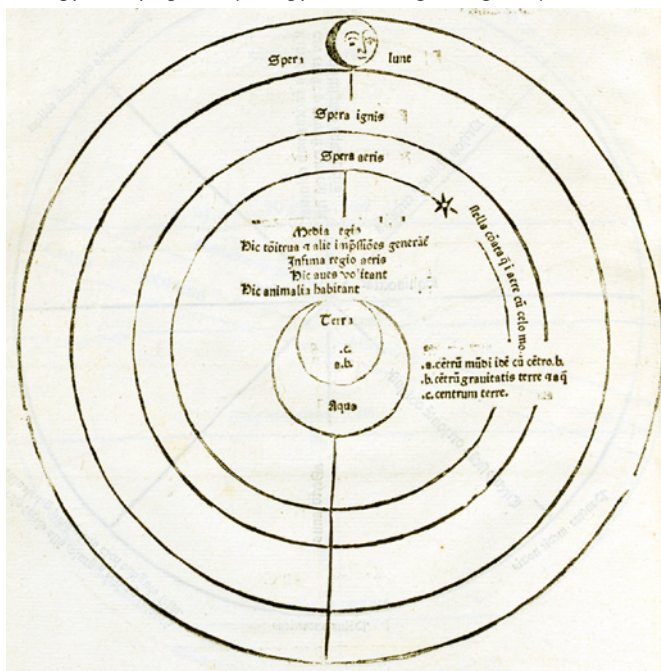


1. ábra. Ptolemaiosz világtérképe a *Geographia* 1578-as kiadásából.

A reneszánsz kozmográfia ókori előzményei között kitüntetetten fontos helyet foglalt el a 2. századi *Klaudiosz Ptolemaiosz*, aki csillagászati műve, a híres *Almagest* után írta meg a *Geográfia* című értekezését. Ebben a geocentrikus világkép matematikai – geometriai leírására használt módszert, a koordináta-rendszert használta fel a földrajz helyek leírására. A geográfia Ptolemaiosznál a világtérkép megrajzolását jelentette, vagyis könyve tulajdonképpen egy útmutatás volt ahhoz, hogyan kell a felsorolt nyolcezer jellemző hely koordinátaival, a földrajzi szélességek és hosszúságok ismeretében a világ térképét megszerkeszteni. A könyvben tárgyalt világ a legnagyobb kiterjedésű volt az ókorban: nyugatkeleti irányban mai Kanári-szigetektől nagyjából Hátsó-Indiáig terjedt. Fontos azonban megemlíteni, hogy az ókori földrajz csak a lakott világra terjedt ki, amelynek a neve *oikoumene* volt. Ptolemaiosz ennek a kiterjedését 180 fokra tette, vagyis világtérképe a földgömb egyik felét ábrázolta. Ezen helyezkedett el az ismert szárazföld, amelynek részei voltak a tengerekkel vagy folyókkal elválasztott kontinensek, míg az egész szuperkontinenst, az Óvilágot a világóceán vette körül. Ptolemaiosz világtérképének csak a 11. században rekonstruált változatait ismerjük, mert az eredetiek nem maradtak fenn. Azonban ezek a térképek olyasmit is ábrázoltak, ami a műben nem volt benne. Ptolemaiosz úgy gondolta, az Egyenlítő környékén és azon túl is lehetséges emberi élet, azonban bizonytalan volt abban, hogy Afrika meddig terjed déli irányban. De feltételezte, hogy arrafelé további szárazföldek vannak – ahogyan a világ keleti, Kínán túli részén is lehetnek még ismeretlen földek.

A kora újkori világtérképeken a bizonytalan információ grafikus formát öltött, amelynek leglátványosabb megvalósulása az Afrikát Ázsiával összekötő szárazföldi híd volt. Egyes későbbi térképeken itt az a latin felirat szerepelt, hogy *Terra incognita secundum Ptholemei*. De hogyan lehet az ismertelen földet térképen ábrázolni? Nyilvánvalóan ez olyan ellentmondás volt, amit nem lehetett elméletileg feloldani. Ennek a nem létező, hiszen ismeretlen, de a térképen megjelenő földnyelvnek a következménye az volt, hogy az Indiai-óceán beltengerré vált, vagyis az olyannyira áhított Fűszer-szigeteket nem lehetett Afrika körülhajózásával elérni. Éppen ezért a portugálok törekvése, hogy Afrika megkerülésével ériék el az Indiákat valószínűleg olyan ismeretekre is támaszkodott, amik alapján tudhatták, hogy a körülhajózás lehetséges. Kolumbuszt azonban a saját ötlete szempontjából érdekesebb, keleti ismeretlen földek foglalkoztatták, vagyis azok az ázsiai területek, amelyek túlnyúltak az ókori ismert világ határain. Ezek kétségtelenül a lakható világhoz tartoztak, mert a mérsékelt klímaövezben voltak. Létezésük lehetőségét Ptolemaiosz is elfogadta, azonban térképén nem szerepelhettek, mivel túlnyúlt a félgömbön, vagyis a 180 fokon.

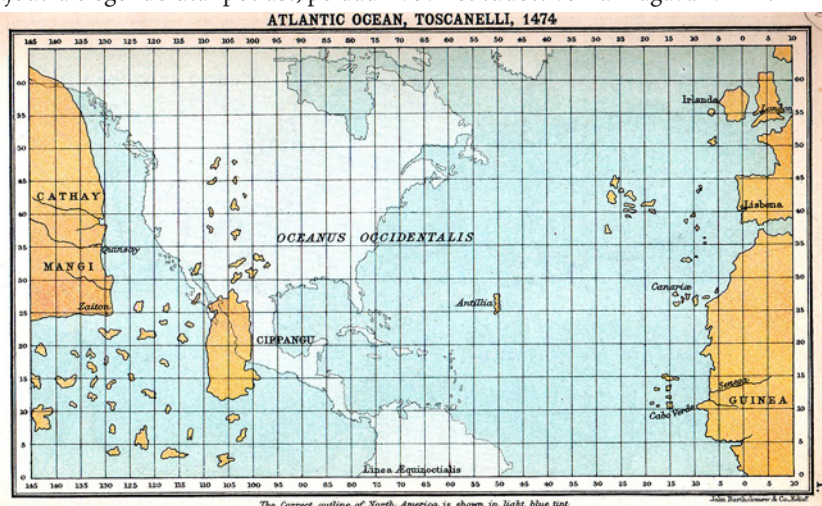
Már csak az volt a kérdés, hogy mennyivel nyúlhatott át az eurázsiai kontinens a félgömb másik felére, hiszen ettől függött a nyugati hajóút hosszúsága. Kolumbusz ezt ugyanolyan jól tudta, tervének mint bírálói. Ezért igyekezett minden érvet felsorakoztatni, ami elképzelését támogatta – és közben persze elhallgatta azokat, amelyek ellentmondtak a „keskeny tenger,” teóriának. A korabeli tudomány nem tudott bizonyosságot kínálni a kérdésben, amelynek eldöntéséhez kétféle méretet kellett összehasonlítani. Egyrészt a Föld méretét, másrészt pedig a keleti irányba megtett út hosszát. A Föld méretével kapcsolatosan már Ptolemaiosz is megküzdött a problémával, amikor Eratoszthenész meglepően jó eredménye, a 252 000 sztadion helyett inkább a 180 000 sztadiont fogadta el kerületnek, és ezzel a gömb kerületét mintegy negyedével csökkentette. Ugyanakkor pedig a szárazföldi utazások megbízhatatlan útméréseinek adataiból dolgozva a nyugat-keleti kiterjedést jóval nagyobbának számolta a valóságnál. Kolumbusz ezt a gondolkodásmódot követte, amikor – félreértve az arab forrásokban szereplő mértékegységet – a földméretet tovább csökkentette. Ennek a bonyolult, és természetesen antik és modern szerzők véleményét is idéző érvelésnek az eredményeként állította Kolumbusz, hogy a távolság „nem túlságosan nagy”, a nyugati hajóút gyakorlatilag is végrehajtható vállalkozás.



2. ábra. A négy őselem elrendezése Pierre d'Ailly kozmográfiai diagramján (1483).

Azonban a terv ellenzői egy eltérő világtérképben gondolkoztak, amelynek forrásait maga Kolumbusz is felhasználta a saját igazának bizonyítására. *Petrus Aliacus* francia teológus könyve, a híres *Imago Mundi* 1483-ban Löwenben nyomtatott kiadása ugyanis egyike azon ritka köteteknek, amelyekről tudjuk, hogy Kolumbusz könyvtárában is megvoltak, ráadásul a széljegyzetek szerint ő maga is gyakran olvasta őket. *Aliacus* a Nyugati-óceán „csekély kiterjedésével” kapcsolatos véleményét Kolumbusz természetesen lelkesen idézte. Azonban ugyanennek az értekezésnek, amely elsősorban Roger Bacon korábbi művén alapult, egy másik vonatkozását nem vette tudomásul. Egyes késő-középkori teológusok ugyanis megpróbálták feloldani az arisztotelészi fizika alapját jelentő négy őselem sűrűség szerinti, koncentrikus elhelyezkedésének problémáját. Eszerint ugyanis a földet teljesen be kellene borítania víz szférájának, márpedig a földi tapasztalat ennek ellentmondott. Arisztotelész egyszerűen a szublunáris, a Hold alatti szférák szabálytalanságaival magyarázta a szárazföld létezését.

Az olyan teológusok, mint például a 14. századi párizsi filozófus, *Jean Buridan* azonban sokkal ambíciózusabb magyarázattal szolgáltak, mégpedig a föld és a víz szféráinak excentrikus elhelyezésével. Az ilyenfajta nézetekben többféle megoldás is felmerült az univerzum középpontjára vonatkozóan, *Pierre d'Ailly* például a föld és víz szférák közös középpontját javasolta. Viszont az excentrikus megoldás ugyan megoldotta a szárazföld kérdését, de kellemetlen következménye volt az azt körülvevő óceán óriási kiterjedése, ami gyakorlatilag tette lehetetlenné a nyugati hajóutat. Egyszerűen nem létezett olyan méretű hajó, amely egy több éves óceáni hajóútra elegendő utánpótlást, például ivóvizet tudott volna magával vinni.



3. ábra. Toscanelli térképének (1474) 19. századi rekonstrukciója.

Kolumbusz azonban nem ebben a kozmográfiai világképben gondolkodott, hanem egy föld és vízszférát magába foglaló (*terraqueous*) földrajzban. Szerencsére talált olyan tekintélyeket is, akik hatékonyan támogatták ötletének megvalósítást. Közöttük elsősorban a firenzei *Paolo Toscanelli* érvelt a nyugati hajóút mellett. Toscanellit 1474-ben még a portugál korona kereste meg kérdéseivel, a válaszlevelet Kolumbusz is ismerte. Az itáliai orvos átszámolta az ismert, nyugat-keleti távolságokat, és az eurázsiai kontinens kiterjedését végül 230 fokra nyújtotta. Ezzel egyébként igen közel jutott ahhoz az értékhez, amelyet a türoszi Marinosz tartott helyesnek (225 fok), amit azután alapos kritika után maga Ptolemaiosz helyesbített... Tudjuk, hogy leveléhez egy térképet is mellékel, azonban ez sajnos nem maradt fenn. Azonban az eurázsiai kiterjedés nem ért véget a kínai partokkal, hiszen *Marco Polo* beszámolójából széles körben ismert volt, hogy Ázsia keleti partja mentén hatalmas szigetvilág fekszik, benne a legnagyobb sziget *Zipangri*, azaz Japán. Ezeken kívül a középkori földrajzi irodalomban számos további sziget létezését is feltételezték a Nyugati-óceánban. 1497-ben a firenzei *Henricus Martellus* világtérképén ennek a területnek a hozzáadásával az ismert világ 270 foknyira bővült. Látható, hogyan zsugorodott rohamosan az ismeretlen óceáni terület a cél, az Indiák elérésére és gyarmatosítására vágyakozó, korai modern geopolitikai világképben.

Azonban Kolumbusz a ma történelemformálóan fontosnak tartott 1492-es majd további felfedezőútjai sem tudtak döntő bizonyítékot szolgáltatni, hogy az újonnan felfedezett területek, valójában a világ melyik részéhez tartoznak. Jól ismert tény, hogy Kolumbusz haláláig szilárdan hitte, hogy Ázsia ismeretlen részébe jutott, így az Újvilág megnevezés erre vonatkozott. Azonban igen nagy volt a bizonytalanság, amit – furcsa módon – a felfedezőutak kezdetben még tovább növeltek. A felfedezések útvonalait igencsak bizonytalan távolság- és iránymeghatározásokból lehetett rekonstruálni, így az eredményeket különbözőképpen lehetett a földrajzi világképbe illeszteni. Ráadásul az óriási bizonytalanság miatt a partvonalak egyértelmű térképi ábrázolása szinte lehetetlen volt.

Az Újvilág első térképei

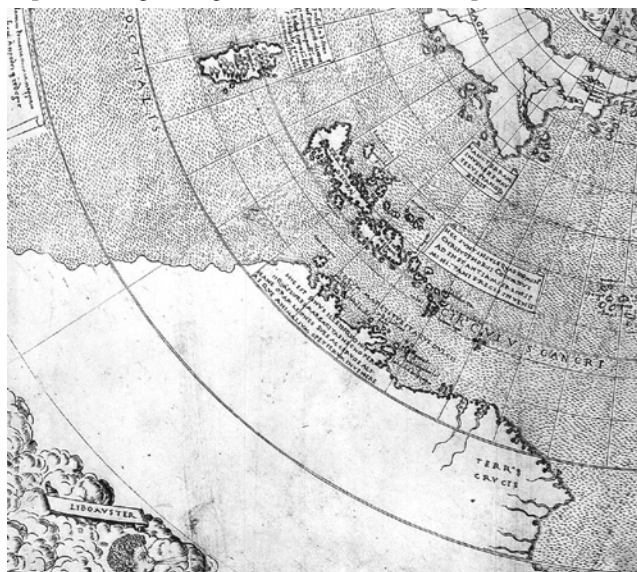
Így a nagy földrajzi felfedezések korának útvonalait a földrajzi világképbe illeszteni igyekvő kozmográfusok különböző, alternatív világképeket alkottak. Ennek a figyelemreméltó folyamatnak a mérföldkövei a 16. század első felének világtérképei. A tulajdonképpen kozmográfiai útkeresés bonyolult folyamatát illusztrálják az első, *kézírtas* világtérképek, amelyken feltűnik az Újvilág. *Juan de la Cosa* munkája (1500) egy kiegészített portolán, míg a *Cantino-világtérkép* (1502) nemcsak a kartográfiai hírszerzés, de a világ felosztásának is érdekes dokumentuma a *tordesillasi* szerződés demarkációs vonalának ábrázolásával. A 16.

század elején egyre inkább elterjedő térképnyomatás lehetővé tette a különböző földrajzi koncepciók korábbiakban soha nem látott példányszámban való terjesztését, nemcsak az európai humanisták között, de a széles közönség is megismerhette ezeket. Az Újvilág felfedezéséről maguk a felfedezők, így Kolumbusz is beszámoltak leveleikben, amelyek közül egyesek hamarosan több nyelven is megjelentek nyomtatásban. Azonban a felfedezett földek holléte, partvonaluk és kiterjedésük egészen a 16. század elejéig csak kéziratos térképeken jelent meg, amelyeknek tartalmát a portugál vagy spanyol udvar politikai és kereskedelmi érdekből igyekezett titkolni.

Az alábbiakban a 16. század elejéről mutatok be néhány fontos világtérképet, amelyek jól illusztrálják a fentiekben jelzett bizonytalanságok feloldására tett kísérletek sokszínűségét.

Nyomtatott Újvilágok: Contarini – Rosselli, 1506 – Ruysch, 1507

Az 1506-ban, feltehetően Velencében kiadott nyomtatott világtérkép megjelenésével ez a helyzet megváltozott. A ma csupán egyetlen példányban fennmaradt, legyező alakú, rézmetszetes világtérkép szerzői a felirat szerint a patrícius *Giovanni Matteo Contarini* és a firenzei művész és kozmográfus, *Francesco Rosselli* volt. Utóbbi negyedszázaddal korábban még Mátyás király budai udvarában működött és innen hazatérve alapította meg a világ első kereskedelmi térképészeti vállalkozását.



4. ábra. Contarini-Rosselli világtérképének részlete (Velence(?), 1506).

A világtérkép címfelirata sokat elárul a készítők szándékairól: „*Ptolemaiosz földrajza 180 hosszúsági fokra a másik félteke hozzáadásával ugyanabban a sorrendben, szintén 180 fokban. Ha a két fokhálózatot összehajtva körre formálod, akkor az egész gömböt 360 fokban érzed. Giovanni Matteo Contarini szorgalma és a firenzei Francesco Roselli művészete és találékonysága tette ezeket ismertté 1506-ban.*” A világtérkép nemcsak a nyugati felfedezőutakról, de a távol-keletről érkező új ismereteket is ábrázolta. Arra, hogy miért adták ki ezt a térképet éppen Velencében a korabeli Földközi-tengeri kereskedelem központjában, nyilvánvalóan az a válasz, hogy az atlanti lehetőség miatt óriási volt az érdeklődés Itáliában a kereskedelmi fejlesztésre. Az itáliai kereskedők ügynökei mindent megtettek, hogy részt vegyenek a vállalkozásokban. Kolumbusz első útjától pénzügyi támogatással, majd például Amerigo Vespucci személyében saját képviselővel is megjelentek a vállalkozásokban. Az első nyomtatott térképen az Újvilág északi része a kolumbuszi koncepciót tükrözi, mivel nemcsak a földrajzi nevek származnak az Admirálistól, de egy magyarázó szöveg is világosan kimondja, hogy ő Ázsia új területét fedezte fel. A szigetek és az északabbra megjelenő portugál felfedezések (Labrador) tehát egyértelműen ázsiai kontinenshez tartoznak. Ezzel szemben a déli felfedezőutak, tehát Cabral vagy később Hojeda



5. ábra. Ruysch világtérképe (Róma, 1507).

kutatóútjai – amelyekről Vespucci sajátjaiként számolt be – egy hatalmas szigetre vagy szárazföldre utalnak, amely nem függ össze az északi területekkel. Rajta a felirat *Terra S. Crucis* (Szent Kereszt Földje). Egy szöveges magyarázat az óvilági kontinenseken (Európa, Ázsia és Líbia) túlmenően az *Antipódák* ábrázolását említi. Az ellenlábás világ a római földrajzi világképből kerültek át a reneszánszba a klímazónák tanával kapcsolatosan. A térképen láthatóan valóban az Európával áttelleges szárazföldre utalhatna megjegyzés.

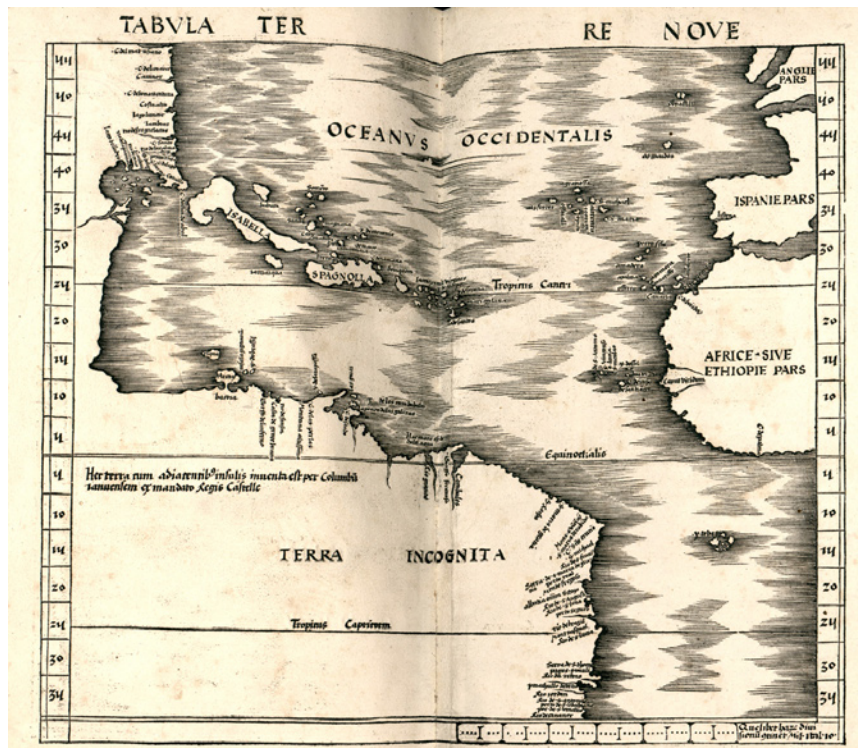
A következő évben, 1507-ben, a flamand származású szerzetes, *Johannes Ruysch* egy nagyon hasonló térképet készített, ami Rómában az ott nyomtatásban megjelenő Ptolemaiosz-kiadás egyes példányaiba is belekerült. Ruysch valószínűleg maga is részt vett egy felfedezőúton, így alaposan ismerte a körülményeket. Térképe részletekben tér el a korábbi Contarini-Rosselli modelltől, mert elődjéhez hasonlóan az északi újvilági területeket Ázsiához sorolja (*Terra Nova*), míg a délen felfedezett sziget neve *Terra Sancte Crucis sive Mundus Novus*. ahol ő Vespucci 1501-es felfedezőútjának eredményeit is ábrázolja a déli szélesség 50. fokáig. Bár Ruysch tájékozottságához és alaposságához nem férhet kétség, hiszen ezt már kortársai is kiemelték, térképén érdekesség, hogy nagyjából Lisszabon földrajzi szélességén a Nyugati-óceánban feltünteteti a legendás *Antilia* szigetét. Érdekes módon azonban a kelet-ázsiai szigeteket nem ábrázolja, még Japán (Zipangri) sem szerepel nála, mindössze felirat utal ezek létezésére.

Amerika keresztlelevele: Waldseemüller, 1507 – 1513 – 1516

1507-ben azután fordulóponthoz érkezett az Újvilág földrajzi recepciójának folyamata, amikor a felfedezett földeket elnevezték Amerikának. A lotaringiai kisvárosban, St. Diéban működő humanisták kiadták azt a világtérképet, amelyet ma „Amerika keresztlevelének” neveznek. A humanista kör térképésze *Martin Waldseemüller* volt, így a térképet manapság Waldseemüller-térképnek is hívják. Azonban az utóbbi évek kutatásai arra utalnak, hogy az Újvilággal kapcsolatos, akkoriban meglehetősen radikális koncepció, sőt, maga a névadás is *Matthias Ringmann* hozzájárulása volt. Ringmann és Waldseemüller a freiburgi egyetemen tanultak, és valószínűleg diáktársakként ismerték egymást mielőtt közösen kezdtek dolgozni Ptolemaiosz földrajzának korszerűsítésén.

A világtérkép szerkesztésének közvetlen oka valószínűleg *Amerigo Vespucci* levele volt, amelyben a firenzei kereskedő és ügynök jó érzékkel jelentette ki, hogy a felfedezett Újvilág önálló, nem része egyik korábban ismert kontinensnek sem. Vespucci levelei olyan nagy hatást gyakoroltak a fiatal humanistákra, hogy az újonnan felfedezett földeket „Amerigo földjének, azaz *Amerikának*” nevezték el. Ennek a névadásnak a rövid magyarázata olvasható a *Cosmographia Introductio* című értekezésben, amely valószínűleg Ringmann műve, miközben

Bár a nagy világtérkép (1507) az új világrész lehetőségét hordozta, Waldseemüller hamarosan szakított ezzel a koncepcióval. 1516-ban ugyanis egy másik világtérképet alkotott, amelyet elsősorban a portugál felfedezések eredményeit ábrázoló portolának alapján, azok stílusában szerkesztett meg. Előképe feltehetően a genovai Niccolo de Caveiro 1503-ban rajzolt portolán világtérképe lehetett, amelyet ma a francia Nemzeti Könyvtárban, Párizsban őrinek.



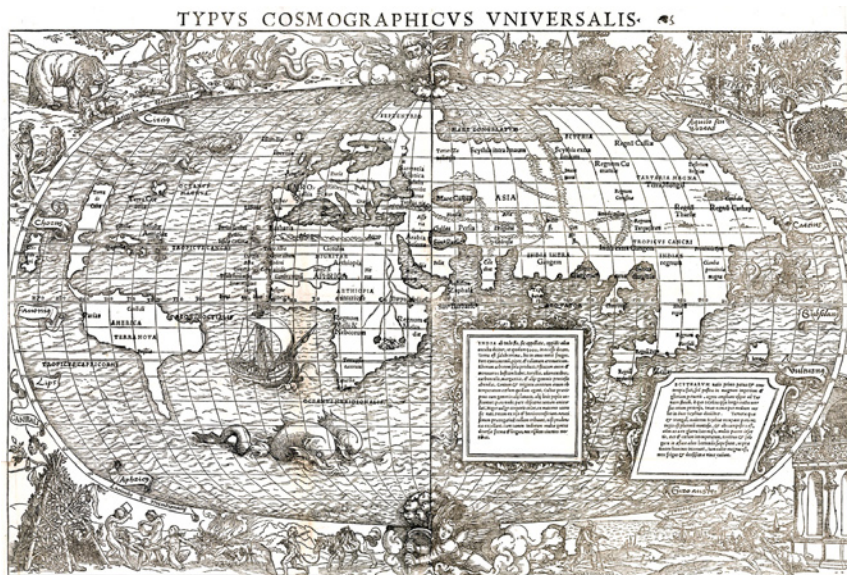
7. ábra. Az Újvilág (Terra Nova) a Waldseemüller szerkesztette Ptolemaiosz-kiadásban (Strassburg, 1513).

Ez a navigációs világtérkép azért figyelemre méltó, mert gyökeresen eltérő földrajzot mutat, egyáltalán nem szerepel az Amerika név. Ennek oka bizonyára az a felismerés volt, hogy a felfedező valójában Kolumbusz volt – és nem Vespucci. Waldseemüller ezért már az 1513-as strassburgi Ptolemaiosz-kiadáshoz szerkesztett térképéről törölte az America nevet, helyette a *Terra incognita* megnevezést alkalmazta (az 1535-ös kiadásban ezt *Terra Nova*-ra változtatták). Az Egyenlítő mentén pedig egy magyarázó feliratot helyezett el, amely szerint ezeket a földeket Kolumbusz fedezte fel Kasztília királyának megbízásából.

Három évvel később készült a *Carta Marina*, amely a tengerészek modern térképeinek stílusában a korábbi világtérképhez képest sokkal mérsékeltbb elképzelést illusztrált. Waldseemüller az 1507-es szigethez képest elfogadta a felfedezett északi területeket Ázsia részeként (*Terra De Cuba Asiae Partis*), a dél- lieket pedig ezekkel összefüggésben lévő nagy, ismeretlen területként (*Brasilia sive Terra Papagalli*). Azonban térképén a kettő között vonalkázás nélküli part- vonal-ábrázolással jelezte egy átjáró lehetőségét, míg teljes homályban hagyta a szárazföldek keleti partvonalát. Márcsak ezért sem ábrázolhatta, mert ez a vi- lágtérkép nem terjedt ki az egész Földre, mert a felszín csaknem egyharmada – mintegy 128 hosszúsági foknyi ismeretlen terület – kimaradt!

Amerika vagy az Újvilág: Münster, 1532, 1540 – Fine, 1532

A Föld körülhajozása, Magellán nagy hajóútja nem a Föld gömbölyűségét bi- zonyította, hanem éppen a földalak miatt vált lehetségessé a Molukkák elérése. A német Johannes Schöner korábbi földgömbjén csak feltételezett déli átjárón sikerült Magellánnak áthatolnia a Csendes-óceánra. Azonban nem hajózott a keleti partok mentén, így az 1520-as években még mindig bizonytalan maradt az Újvilág hovatartozása. Schöner pedig a Magellán-expedíció Nürnbergbe elju- tott jelentése alapján arra a következtetésre jutott, hogy az Újvilág mégis inkább Ázsia ismeretlen része.



8. ábra. Sebastian Münster világtérképe (Bázel, 1532).

1532-ben a modern felfedezőutakat ismertető, tizenhét útleírást tartalmazó gyűjteményes kötetet szerkesztett Simon Grynaeus és Johannes Huttich (*Novus Orbis Regionum ac Insularum Veteribus Incognitarum*, Bázeli. A könyvhöz a földrajzi iránt különösen érdeklődő teológus és hebraista professzor, Sebastian Münster szerkesztett egy világtérképet. Ez az ovális formában megrajzolt ábrázolás érdekes módon az 1507-es Waldseemüller-féle sziget-koncepciót mutatta be, amely német nyelvterületen meglehetősen elterjedt volt. Münster valószínűleg már korábban megszerkesztette ezt a viszonylag nagyméretű mappát. Valószínűleg a bázeli művész, ifjabb Hans Holbein metszett fába, aki egyben a dekoratív keretrajzot és a térképen látható érdekes rajzokat, például a braziliai kannibál-életképet is tervezte. Az Újvilág északi részét (*Terra de Cuba*) és a sokkal nagyobb déli szárazföldet (*America, Terra Nova*) egy keskeny átjáró választja el.



9. ábra. Világtérkép a Münster szerkesztésében, 1540-ben kiadott bázeli Ptolemaiosz-kiadásban.

Münster ezt az álláspontot képviselte az 1540-ben Bázeli kiadott ptolemaioszi Geográfiában is, amely külön lapon ábrázolta az Újvilágot (*Novus Orbis, Nova Insulae*). Majd ez a térkép 1544-től átkerült a híres Kozmográfiába is, miközben a mű szövege éppen csak említi a felfedezéseket. Münster a figyelemreméltóan túlhaladott álláspontja is azt mutatja, hogy a kontinentális Európába

csak lassan jutottak el a felfedezőutak eredményei, recepciójuk pedig még évtizedekig tartott.

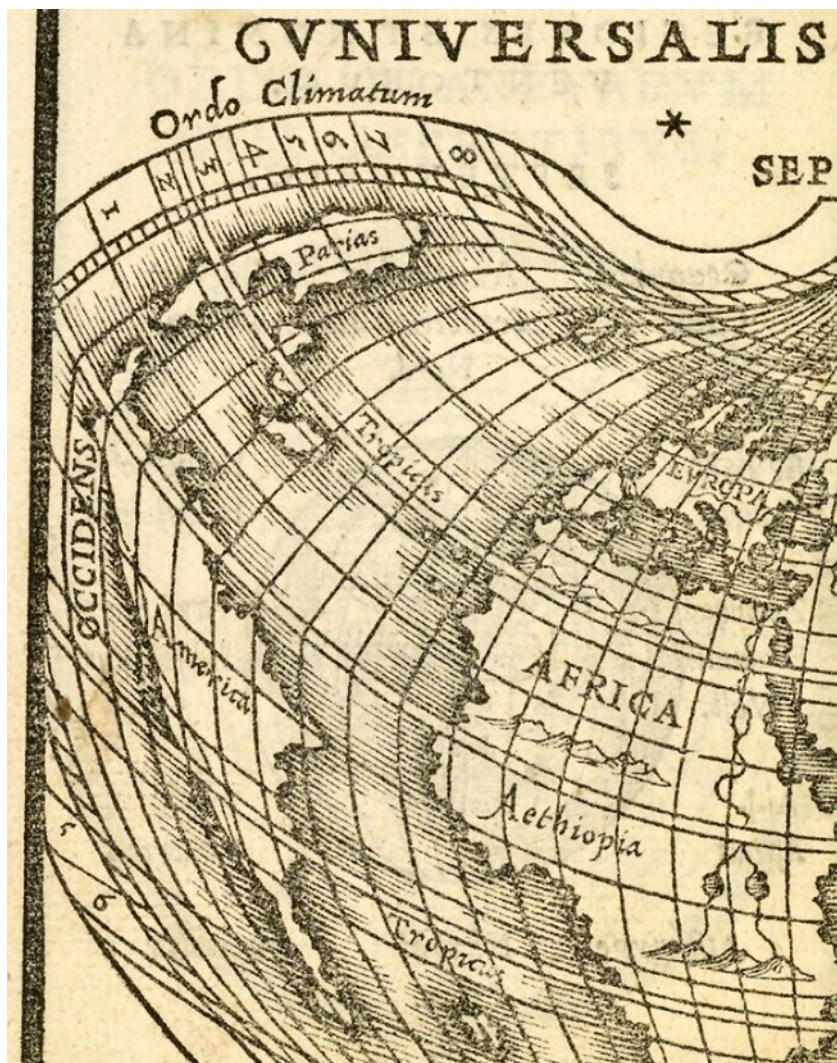
Éppen ezért, amikor az utazási gyűjteményt ugyanazon év (1532) őszén Párizsban is megjelentették, a kiadó úgy döntött, hogy egy „korszerűbb” világtérképet mellékel a műhöz. A választás a kitűnő francia kozmográfus, *Oronce Fine* kettős szívalakú művére esett, amely figyelemre méltó módon az északi és a déli féltekét külön ábrázolta. A mű kétségtelenül bemutatta a szorost és a Magellán által felfedezett óceánt is. Sőt, a lap jobb oldalán, attól délre egy hatalmas, még ismeretlen szárazföldet a *Terra Australis*-t is ábrázolta a déli sarkvidéken. Viszont a déli szárazföld megnevezése ugyan *AMERICA*, de az szárazföldi híddal összekötött északi területek ismét Ázsiához tartoznak...

Honterus 1530, 1542

Az első magyarországi vonatkozású világtérkép, amelyen megjelent Amerika, az erdélyi szász humanista *Johannes Honterus* kozmográfiai könyvecskéjének krakkói kiadásában jelent meg (1530). A tankönyv végleges, verses kiadásának világtérképét 1542-ben Brassóban nyomtatták. Ez és a további fametszetek voltak az első, Magyarországon nyomtatott térképek. A krakkói kiadás világtérképe jól láthatóan Waldseemüller 1507-es világtérképének hatását mutatja Apianus (1520) közvetítésével. Azonban érdekes módon a falitérképét, és nem a felső panelben látható Újvilág ábrázolást, melyet 1512-ben *Johannes Stobniza* reprodukált a krakkói Ptolemaiosz-kiadáshoz. Vagyis Honterusnál a két szárazföld között egy széles tengeri átjáró húzódik, a déli sziget neve *Americae*, de az Újvilág mindkét része önálló, az északi sem tartozik Ázsiához. Sokkalta igényesebb kidolgozásban, de ugyanezt a földrajzi elképzelést közvetítette az 1542-es brassói kiadás szív alakú világtérképe is, ahol az északi területre a *Parias* a déli pedig az *America* nevet írta a szerző.

Összefoglalás

A 16. század első évtizedeiben a nagy földrajzi felfedezőutak eredményeit különböző földrajzi koncepciókba igyekeztek beilleszteni, amelyekben az ókori geográfia és skolasztikus teológia keveredett a tapasztalati úton nyert tudással és a térképészek fantáziájával. Így az 1500-as évek elején feltűnő nyomtatott világtérképek nagy változatosságot mutatnak, valójában lehetséges alternatívákat tártak a nagyközönség szeme elé. A fentiekben elemzett kartográfiai példákon megmutattuk, hogy leginkább az Újvilág északi részének Ázsiához tartozása felelt meg a hagyományos, ptolemaioszi világképnek (Contarini-Rossell, 1506). A sziget-koncepció következménye az önálló Amerika elnevezése, ám Waldse-



10. ábra. Honterus világtérképének amerikai részlete (Brassó, 1542).

emüllernél egy térképen jelent meg többféle megoldási lehetőség (1507), majd rövid időn belül radikálisan átalakította világképét (1513, 1516).

Sebastian Münster éppen a korábbi merész újdonság adaptálásával vált egy túlhaladott koncepció nagyhatású képviselőjévé (1532, 1540), éppúgy, mint Amerika ábrázolása Honterus nagyhatású kozmográfiai tankönyvének világ-

térképén (1542). Az utóbbi művek Amerika-ábrázolása azonban sok évtizedes kiadástörténetük miatt túlélte a kozmográfiai vitákat és lassacskán megint aktuális földrajzi tudássá vált a 16. század második felében...

Irodalom:

Fernández-Armesto, F.(1987.): Before Columbus: Exploration and colonization from Mediterranean to the Atlantic, 1229-1492. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.

Harley, J. B. (1990): Maps and the Columbian Encounter. An interpretive Guide to the travelling Exhibition. Univ. of Wisconsin The Golda Meir Library, Milwaukee.

Hessler, J. W. (2008): The naming of America: Martin Waldseemüller's 1507 world map and the Cosmographiae introductio. Featuring a new translation and commentary. London: D Giles Limited - Library of Congress.

Klinghammer István-Pápay Gyula -Török Zsolt (1998): Kartográfia-történet. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.

Nebenzahl, K. (1990): Der Kolumbusatlas: Karten aus der Frühzeit der Entdeckungsreisen. Westermann, Braunschweig.

Török Zsolt Győző (2008): Kolumbusz és a reneszánsz kozmográfia. MEDITERRÁN VILÁG, 6, pp. 47-56.

Török Zsolt Győző (2013): Artist and Cosmographer: Francesco Rosselli and his Fiorenza. In: Israëls, Machtelt; Waldmann, Louis A (szerk.): Renaissance Studies in Honor of Joseph Connors, Vol. 2: History, Literature, and Music. Harvard University Press, Cambridge, Mass., pp. 16-174.

Török Zsolt Győző (2015):Einführung zu einem Kosmographie-Lehrbuch der Spätrenaissance. In: Honterus, Johannes; Andreas, Ulrich; Offner, Robert Rudimenta Cosmographiae: Grundzüge der Weltbeschreibung. Corona/Kronstadt 1542. Schiller Verlag, Bonn, pp. 38-60.

Török Zsolt Győző (2018): Utazások és térképek: az ókori világ térképi vizualizációja Ptolemaiosz földrajzi művében. In: Lendvai Timár Edit - Berta Erika - Lehoczki Zsuzsanna - Pravetz Beáta (szerk.): FUT- Földrajz- Utazás- Történelem. Martin Opitz Kiadó, Budapest, pp. 7-15.

Török, Zsolt Győző (2023): 1542 - Johannes Honterus világtérképe Amerikát is ábrázolja: Az Amerikáról szóló tudás, Európa helyének újradefiniálása. In: Laczó, Ferenc; Vadas, András; Varga, Bálint (szerk.): Magyarország globális története a kezdetektől 1868-ig. I. köt. Corvina Kiadó, Budapest, 226-230.

Földrajztanítás a geográfus gróf Teleki Pál szellemiségében – bizonyosságok és bizonytalanságok a mai földrajztudomány tanításában

Kőrösi Mária

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnika Mérnöki Kar, Budapest

kolama48@gmail.com

*“A politikai földrajz történelmet magyaráz...
a történelem nem másolni, hanem ítélni tanít.”
„Az ország kormányzása gyakorlatilag geográfia”
gróf Teleki Pál*

Teleki Pált a sors tanárnak, pedagógusnak jelölte ki. Kiválasztott volt ő ezen a gyönyörű és közéleti gyötrelmes pályán, és az maradt élete utolsó pillanatáig. Tanár és nevelő, iskolai, egyetemi, a cserkészlet és a közéleti, államférfiúi politikusi területen egyaránt.

Még tovább: amikor nem egyszer kellett helyt állnia határmegállapító bizottságok hazánkat érintő véresen komoly helyzeteiben. Szakismerete szaktekintéllyé emelte őt szerte a világban. Teleki tudósi, tanári éltető eszméi mára különösen, kiemelten lettek feladattá. Mégpedig halaszthatatlanul. Így hozták az események, így hozta a történelem. Így azután kiemelt oknyomozói és rendszerező munka, de még nagyobb felelősség hárul a földrajztanárookra, kutatókra mindenhol hazánkban: Teleki földrajzi eszméit beépíteni a földrajztanítás tanrendjébe.

A történelem úgy hozta, hogy történelmünkben a harmadik erőpróba idejét éljük. De nem csak hazánkra nézve, hanem a Kárpát medencében együtt élő népekre, államokra vonatkozóan egyaránt. Ma és most a földrajz, jelesül a gazdasági és politikai földrajz tanárához joggal fordulhatunk tanácsokért.

A történelem nem másolni, hanem ítélni tanít!

1917. Még zajlik az I. világháború, Oroszországban meginog a cárizmus, a politikusok rendszeresen megfordulnak a nagyállamok fővárosaiban, ahol hol panaszkodnak, hol segítséget kérnek, hol pedig intrikálnak. Mindeközben patakokban folyik a vér a harctereken, békeszerződések születnek diplomáciai asztalokon, de sohasem jól. Egyik sem tart néhány évnél tovább, de nem is tarthat. Senki nem mérte fel a kis népek erejét, sem számbeli, sem gazdasági erejét! Senki nem vizsgálta természetes kapcsolataikat, érdekeiket. A kis hatalmak vaktában hadakoznak, a nagyok pillanatnyi érdekeik szerint rendelkeznek. Ez a helyzet akkor Európában.

A háború kitörésekor Teleki elsőik között jelentkezett a harctérre, noha képzettsége, s egyéb beosztása alapján is „eltekinthetett volna”. Katonáskodott tehát, de a harctéri szünetekben jegyzetelt.

E jegyzetekből születik meg egy olyan munka, melyet a földrajztudomány azóta sem hozott létre. Még ebben az évben jelenik meg saját kiadásában „A földrajzi gondolat története” c. könyve. Mit könyve! Ha szabad így kifejeznem, a földrajzot tanítókhoz szóló „káté”. Miért? Ez a könyv iránymutatás arra, hogyan is kell művelni a földrajzot, bizonyossággal, dokumentumokkal hogyan és miként kell érteni a filozófiához, a történelemhez, a legkülönbözőbb tudományokhoz, de legfőképp magához az emberhez!

A történelem nem másolni, hanem ítélni tanít!

Teleki földrajzot művelése, földrajzot tanítása egészen kivételes és egyéni volt. Előadásait számos, más tudományos területekből hozott gazdasági példák-
kal, szemléletesen, ráadásul önmaga által megélt életképekkel fűszerezte.

„Az ember függ a természettől” – tanította. A modern ember könnyen hiszi, hogy a 20-21. század káprázatos természettudományi és technikai teljesítményei mind jobban, már-már teljesen függetlenítették a természeti erők alól. Téved... Függségünk nem lesz kisebb, csak változik. Függségünket a természettől és egymástól is egyre jobban elmélyíti, egyre nagyobb alkalmazkodást kényszerít ki hol a klíma, hol a talaj, hol az ásványi anyagok, a közlekedési feltételek és lehetőségek és számos más természeti tényező. Így vezetődik be a Föld és az ember helyzete a világegyetembe témakör...

Teleki dinamizmusa, felszültsége, igaz kollegialitása állandó továbbtanulásra, továbblépésre ösztönözte a hallgatóit, akik, amikor vizsgázni mentek hozzá, tudták, hogy maga a vizsga tanáruknál, lényegben építő-szakmai polémia is.

Teleki esetében a vizsgacentrikusság helyett a TUDÁSCENTRIKUSSÁG vitte e a pálmát!

A történelem nem másolni, hanem ítélni tanít!

Hogy Teleki miért tartotta fontosnak a földrajz tanítását, s miért művelte azt egyre tudatosabban, s építette be közéleti tevékenységeibe, arra nekünk magyaroknak legtanulságosabb példa az 1919/1920. évi párizsi békekonferenciára (inkább diktátumra!) készített térképanyaga is. A szlovák-magyar határmegállapító bizottság magyar szakértője volt Teleki Pál. Az ő és munkacsoportja által készített térképek csak és kizáróan a bizonyosságok tárháza és máig igaz dokumentumok – a máért, s a jövőhöz.

A történelem nem másolni, hanem ítélni tanít!

Az ember annál műveltebb, minél többet ért meg. A földrajz sokféle gondolkodásba nyújt betekintést. Meg kell értenünk a csillagász, a geológus elméleteit,

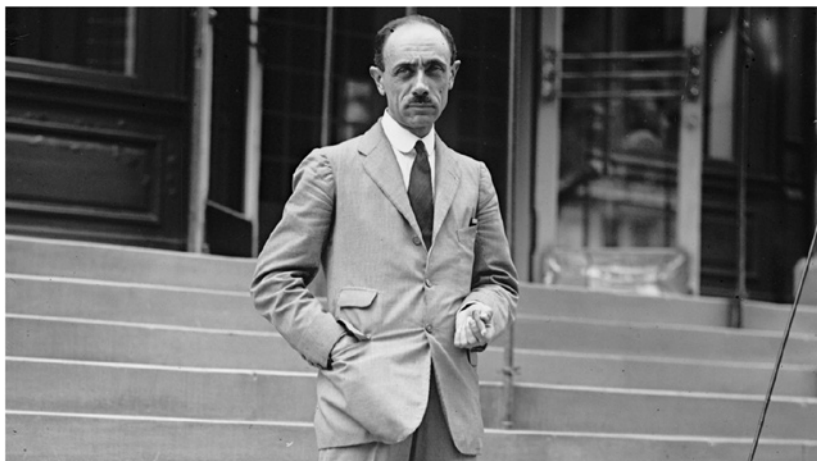
az életet, melyet a biológus kutat, a történész ítéleteit, a politikus gondolkodását... A földfelszíni életben és kutatásban nincsenek korlátok. Hogy ha vannak is törvényszerűségek a föld felszíni életében, s az ember életében a földön, amelynek korlátai között történnek a dolgok, a történés maga egyéni – nagyban és kicsinyben a világegyetemben, a Föld életében és a jelenségekben egyaránt. Ezt úgy megérteni, hogy a hallgató teljesen átérezze, a lelki és erkölcsi nevelés tartozéka. Úgy hiszem, ez hiányzik ma nagyon. Ezt nyújtani kötelességünk.

Jól értsük meg – ez az érték nem a földrajzi tudásban van, amely csak eszköz, hanem FÖLDRAJZI GONDOLKODÁSBAN, amely gondolkodásmód szereket és módokat, szak és foglalkozásbeli felfogásokat, tehát embereket hoz egymáshoz közelebb.

A történelem ne másolni, hanem ítélni tanít!

Igaz ez a figyelmeztetés napjainkban, napjainkra is, amikor a technika, s a már működő mesterséges intelligencia soha nem látott tudományos íveket, eredményeket, jövő alternatívákat jelöl meg, s ad feladatokat az összes tudomány művelőinek az emberi végeesség által nem korlátolt teremtés lehetőségeivel, adottságaival. Azonban ne feledkezzünk meg arról: csak egyetlen Föld van!

A jelen földrajztanítás honi témáiban a gazdasági és politikai földrajz tanárához, Teleki Pál tudományos munkáihoz – az aktualitás jegyében! – a következő témákhoz bátran fordulhatunk dokumentumaihoz, térképeihez: Magyarország és a magyarság helyzete Európában – ebből következően jövője Európában, magának Európának helyzete és jövője, a kisebbségek (inkább alkotó közösségek!) helyzete és jövője Európában, s nem utolsósorban: a politikai földrajz tanítása – amíg nem késő! Bizonytalanságoknak helye nincs!



A szállópor nyomában – hitelesített eszközök és low-cost szenzorok által mért adatok és modellek

Szamosi A. - Vágó J. - Farkas D. - Pecsmány P. - Szalontai L.

Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet

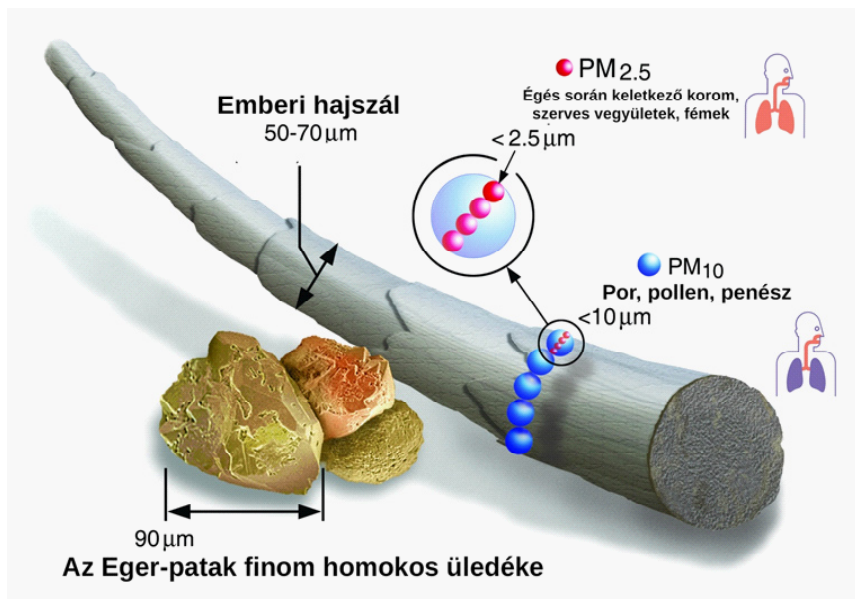
lajos.szalontai@uni-miskolc.hu

Bevezetés

A szállópor a légkörbe kerülő mikroszkopikus méretű szilárd és folyékony részecskékből álló anyagokat jelenti, melyek akár légköri szennyezőkkel való egyesülésből is keletkezhetnek. Ezen részecskéket átmérőjük alapján soroljuk kategóriákba és nevezzük meg: a PM_{10} a 10 μm -nél, a PM_4 a 4 μm -nél, a $PM_{2,5}$ a 2,5 μm -nél, a PM_1 pedig az 1 μm -nél kisebb részecskék csoportja (1. ábra) (Báthory Cs. 2023). Minél kisebb egy részecske annál nagyobb az egészségügyi kockázata. A 2,5 μm -nél kisebbek jelentősen irritálhatják a nyálkahártyát és alsó légutakat, az 1 μm -nél kisebbek pedig a véráramba kerülve kardiovaszkuláris, rákos vagy idegrendszeri megbetegedések kialakulásához vezethetnek (1. ábra) (Pond, Z.A. et al. 2022). A WHO becslése szerint a szállópor okozta légszennyezés évente több millió ember idő előtti halálához vezet világszerte (WHO jelentése, 2021).

Ezek a részecskék természetes forrásokból (pl. vulkáni hamu, erdőtüzek) és emberi tevékenységből (pl. fosszilis tüzelőanyagok égetése, ipari kibocsátás, közlekedés) egyaránt származhatnak. Hazánkban a szállópor koncentrációjának növekedésért a téli időszakban főként a lakossági fűtés (hőmérséklet függő gázfogyasztás és szilárdanyag tüzelés), valamint a közlekedés felelős (Sohrab, S. et al. 2022; Pecsmány P. et al. 2023). A légkörben jelenlévő por az időjárási viszonyok függvényében hosszú ideig magasabb koncentrációban is jelen lehet, sőt a szélerősség függvényében nagyobb távolságokra is eljuthat, jelentős hatást gyakorolva ezzel tágabb környezetére is. A PM_{10} esetében az EU által meghatározott határérték 50 $\mu g/m^3$, amit naptári évenként legfeljebb 35 alkalommal szabad túllépni, míg az éves határérték 40 $\mu g/m^3$, $PM_{2,5}$ esetében ez az érték 25 $\mu g/m^3$ és 10 $\mu g/m^3$.

Miskolcon, mind a természet-, mind pedig társadalomföldrajzi adottságoknak köszönhetően jelentős mértékű szállópor koncentrációval kell számolni az év egyes időszakaiban (főként télen). A Miskolci Egyetemen jelenleg több olyan projekt és kutatás is zajlik, melyek a szállópor különböző típusú szenzorokkal történő mérésével, valamint a mért adatok térbeli kiterjesztésével foglalkoznak. Munkánkban röviden áttekintjük a szállópor mérésének történetét, és a vizsgálataink során elért eredményeinket.



1. ábra. A szállóporok méretei (Forrás: Monirul, I.M. et al. 2017 alapján).

Szállópor és a légköri szennyezőanyagok mérésének története

A szállópor és a légszennyező anyagok monitorozása Magyarországon több évtizedes fejlődésen ment keresztül, amely a technológiai innovációk és a szisztematikus hálózati fejlesztések tükrében alakult. A kezdetek a 20. század elejére nyúlnak vissza, amikor a méréseket időszakos, manuális módszerekkel végezték Budapest forgalmas útjain (pl. Gyáli út, József körút), ahol a korom- és porkoncentrációt vizsgálták. Az 1937-es Owens-féle automata készülékek bevezetése jelentős lépést jelentett, lehetővé téve a folyamatosabb adatgyűjtést (Zichler Zs. et al. 2007).

Az 1940-es évektől a Regionális Immisszió Vizsgáló (RIV) állomások létrejöttével országos szintű monitoringrendszer alakult ki. A gravimetriás és analitikai módszerek domináltak, ahol a szállóport laboratóriumi mintavétellel és koncentrációméréssel elemezték. Ez az időszak megalapozta a szabványosított mintavételi protokollokat és a szisztematikus adatgyűjtést (Zichler Zs. et al. 2007).

A 90-es évek fordulóján a PHARE-program keretében végrehajtott technológiai modernizáció forradalmasította a hálózatot. Az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat (ÁNTSZ) koordinálásában új, automatizált mérőállo-

mások kerültek telepítésre, amelyek 24 órás, folyamatos mérést tettek lehetővé. Ezek az állomások nemcsak hagyományos szennyezőket (SO_2 , NO_x , CO , O_3) követtek nyomon, hanem a részecskeszintű (PM) szennyeződést és a káros PAH vegyületeket is, különösen a gépjárművek emisszióinak hatására fókuszálva (Zichler Zs. et al. 2007).

A 21. században az Országos Légszennyezés-monitoring (OLM) rendszer vált a monitoring gerincévé. Az OLM integrált, valós idejű adatfeldolgozást biztosít és számos innovatív elemet tartalmaz:

- Automatikus mérőállomások: Folyamatosan méri a PM, NO_2 , SO_2 , ózon és egyéb kritikus paramétereket.
- Valós idejű adattovábbítás: A nyilvánosság számára elérhető platformokon (weboldalak, alkalmazások) lehetővé teszik a sürgős környezeti helyzetek kezelését.
- Szabványok és minőségbiztosítás: Nemzetközi összehasonlíthatóságot garantáló módszertani keretek.
- Környezeti és egészségügyi elemzések: Hosszú távú trendek és egészségügyi kockázatok modellezése, amely közreműködik a szabályozások finomhangolásában.

A fejlesztések kulcsa a mérési hatékonyság növelése volt. A kézi mintavételt felváltotta az automatizált, nagy felbontású érzékelőtechnológia, míg az adatfeldolgozás gyorsasága lehetővé tette a proaktív intézkedéseket. Az OLM rendszer ma nemcsak monitoroz, hanem aktívan hozzájárul a légszennyezés csökkentéséhez és a közvélemény tudatosságának növeléséhez. A magyarországi légszennyezés-mérés története a technológiai fejlődés és az európai integráció szimbiózisát tükrözi, amelynek eredményeként a levegőminőség-ellenőrzés ma már tudományosan megalapozott, átlátható és közérthető rendszer (Zichler Zs. et al. 2007).

A levegőminőség mérése és szenzorok alkalmazása Miskolc városában

Miskolc városa környezeti és társadalmi adottságai miatt különösen érintett a levegőszennyezés problémájában. A város nyugaton a Bükk hegység ormaira kapaszkodik fel, míg keleti részén a Szinva-völgyön keresztül kapcsolódik a Sajó völgyéhez. A Szinva-völgy merőleges az általános szélirányra és a környék miatt meglehetősen zárt, így a belvárosban és Diósgyőrben felhalmozó szállóport a légáramlatok nehezen "söprik" ki, míg a város Sajó-völgyére eső részében az északabbra lévő ipari kibocsájtás következtében pont a szél által szállított por okozza az esetenként megnövekvő szállópor-koncentrációt.

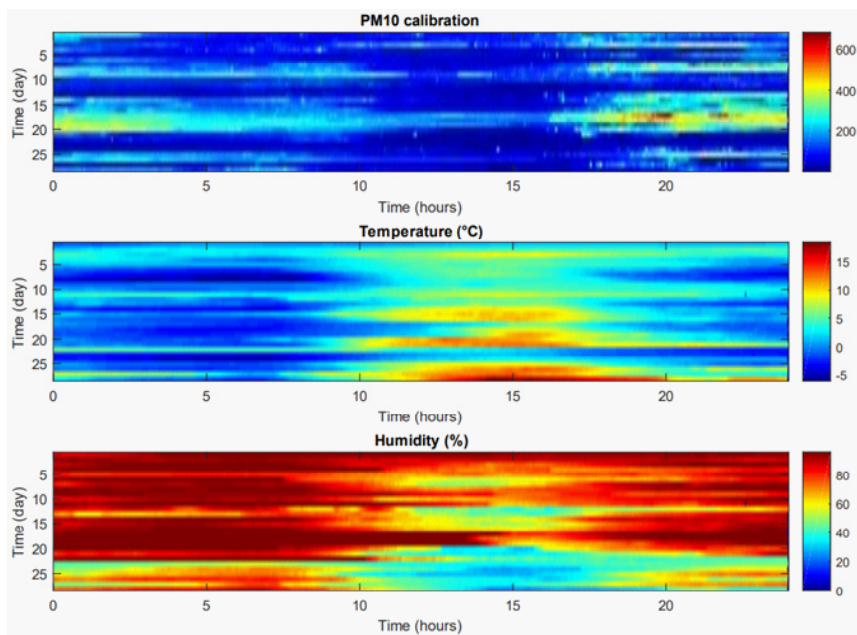
A fűtési időszakban rendszeresen elrendelik a szmogriadót, ami a levegőszennyezettség egészségügyi határértékének túllépését jelzi. Jelenleg a város levegőminőségét mindössze 3 OLM (Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat) állomás figyeli, amelyek elhelyezkedése nem tükrözi a város heterogén környezeti viszonyait. Az állomások a Martin-kertváros és a Görömböly városrészben, valamint a belváros közepén, a Búza téri központi buszmegállóban találhatók. Ez utóbbi meglehetősen problematikus, hiszen a Búza téren és közvetlen környezetében jelentős járműforgalom bonyolódik le, ám Lillafüreden is ezen állomás adatai alapján rendelik el a szmogriadót!

Kutatásunk kiinduló sarokpontja pont ebben keresendő, vagyis arra irányul, hogy a város több pontjában mérjük a szállópor koncentrációját, valamint az egyéb szennyezőket, így a lakosság részére részletesebb tájékoztatást tudunk nyújtani és ezen adatok felhasználásával egy "hitelesebb" modellt tudunk felépíteni.

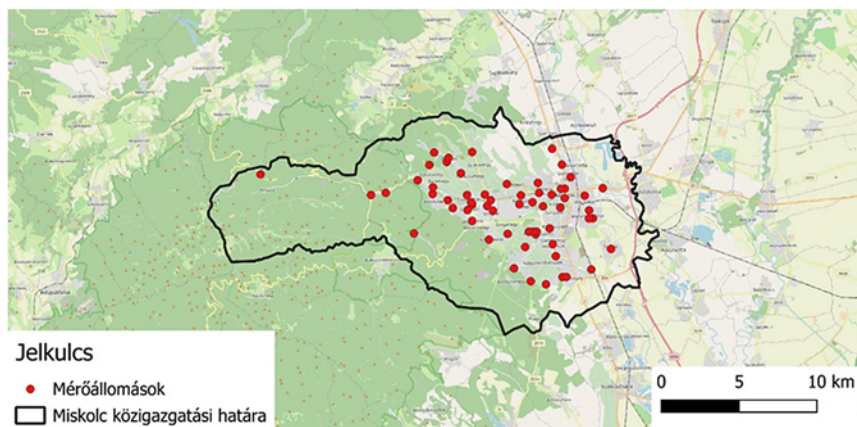
Miskolc levegőminőségének részletesebb és pontosabb monitorozása érdekében az elmúlt években három jelentős projekt indult a Miskolci Egyetemen: a „Korszerű anyagok és intelligens technológiák FIEK létrehozása a Miskolci Egyetemen” című projekt (GINOP-2.3.4.-15-2016-00004), a „HungAIRy” LIFE IP projekt és az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium elnevezésű RRF-2.3.1-21-2022-00014 azonosítószerű projekt.

A FIEK projekt keretében a Martin-kertvárosban öt alacsony költségű szenzort telepítettünk, melyek a városrész esetében részletesebb adatokat szolgáltatnak, valamint a meglévő OLM állomás segítségével lehetőségünk nyílt alacsony költségvetésű szenzorok tesztelésére, kalibrálására és finomhangolására is (Báthory et al. 2019). Az adatok térbeli kiterjesztésén túl, időben is figyelemmel tudtuk kísérni a szenzorok által mért szállópor koncentráció, hőmérséklet és páratartalom értékek alakulását. A 2. ábra a PM_{10} , a hőmérséklet és a páratartalom időbeli változását mutatja, ebben az esetben a februári hónap adott napján (y tengely), adott órájában (x tengely) megállapítható az említett környezeti változók értéke (színezés). A módszer segítségével a napi változásokat tudjuk figyelemmel kísérni.

A HungAIRy projekt keretében 50 alacsony költségű, stacioner levegőminőség-ellenőrző szenzort telepítettek Miskolc különböző pontjain (3. ábra). Ezek a továbbfejlesztett szenzorok valós idejű adatokat gyűjtenek a szállópor (PM_{10} és $PM_{2.5}$) koncentrációjáról, lehetővé téve a levegőszennyezés térbeli és időbeli változásainak pontosabb nyomon követését. A szenzorok elhelyezése sajnos nem földrajzi alapon történt meg, mindez ellenére részletesebb képet kaphatunk a város levegőszennyezettségéről, annak térbeli eloszlásáról (Báthory et al. 2019; Báthory et al. 2023; Pecsmány P. et al. 2023).



2. ábra. Februári PM_{10} hőmérséklet és páratartalom adatainak spektrális ábrázolása.



3. ábra. A Hungairy projekt keretében kihelyezett szenzorok helye
(Forrás: Pecsmány P. et al. 2023).

Az ÉMNL 7b alprojekt keretében a mobil érzékelők új perspektívát nyitnak a levegőszennyezés dinamikus és részletes mérésében, jelentős előrelépést kínálva a hagyományos, stacioner mérőállomások által szolgáltatott adatokhoz képest. Ezek az eszközök lehetővé teszik a levegőszennyezés térbeli és időbeli változásainak pontos nyomon követését, különösen olyan területeken, ahol a hagyományos mérőállomások telepítése nem megvalósítható vagy gazdaságtalan (Szamosi A. et al. 2024).

A mobil érzékelők forradalmasíthatják a levegőminőség mérését azáltal, hogy valós időben és dinamikusan gyűjtenek adatokat. Például tömegközlekedési eszközökre (buszokra, villamosokra) telepítve folyamatosan rögzítik a környezeti paramétereket, miközben a várost átszelik. Ez a módszer nemcsak részletes térképet készít a szennyezettségről, de lehetővé teszi a forgalmas útvonalak, közlekedési csomópontok vagy helyi szennyezési „hotspotok” azonosítását is. Az így nyert információk segítenek a közegészségüggyel kapcsolatos kockázatok (pl. légúti betegségek) felmérésében, valamint célzott városfejlesztési lépések meghozatalában, például zöldterületek kialakításában vagy forgalomirányítási rendszerek optimalizálásában.

A technológia hatékonyságát tovább növeli az IoT (Internet of Things) integrációja. Az érzékelők vezeték nélküli hálózatokon keresztül azonnal továbbítják az adatokat felhőalapú rendszerekbe, ahol gépi tanulási algoritmusok elemzik őket. Ez a folyamat lehetővé teszi az adatok nagy léptékű feldolgozását és a trendek gyors felismerését, valamint azok más városi rendszerekből származó információkkal való összekapcsolását, például:

- Közlekedési adatok (forgalomsűrűség, járműtípusok),
- Időjárási feltételek (szélsebesség, páratartalom),
- Lakossági aktivitások (tömegrendezvények, munkaidő-csúcsok).

Ezen adatok integrálása komplex modellek létrehozását segíti, amelyek előre jelzik, hogyan változik a szennyezettség különböző forgatókönyvek mellett (pl. új gyár építése, vagy elektromos buszok bevezetése). Így a döntéshozók tudományosan alátámasztott stratégiai terveket készíthetnek a levegőminőség hosszú távú javításához. A mobil érzékelők és az IoT együttese nem csupán innovatív megoldás lehet a környezetszennyezés monitorozására, hanem olyan eszköz, amely aktívan hozzájárul az egészségesebb városi környezet kialakításához.

Eredményeink

A projekt keretében végzett vizsgálat során 60 alacsony költségű szenzorral elemeztük Miskolc $PM_{2,5}$ -koncentrációjának térbeli és időbeli mintázatait. A mérések 2022-es adatai alapján a téli hónapokban (különösen decemberben és januárban) a részecskeszint elérte a $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t, míg nyáron (júniusban) $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alá csökkent. A magasabb értékek főként az északi, keleti és középső városrészekre koncentrálódtak, ahol a családi házakban történő szilárd tüzelésű fűtés dominál. A térbeli elemzés során kiderült, hogy a $PM_{2,5}$ eloszlását leginkább a helyi fűtési szokások és a domborzati viszonyok határozták meg. Az alacsonyan fekvő területeken (pl. Ávasalja) a koncentráció szignifikánsan magasabb volt, míg a dombos vagy ipari övezetekben (pl. Lillafüred, Mechatronikai Ipari Park) alacsonyabb és egyenletesebb maradt. A topográfiai elemzés során a tengerszint feletti magassággal (-0,75 Pearson-korreláció) és a relatív relieffel (-0,53) negatív, míg a domborzati nyitottsággal (+0,45) pozitív összefüggés mutatkozott. A közúthálózat sűrűsége csupán gyenge kapcsolatot mutatott a légszennyezéssel (0,31), ami eltér például Szeged eredményeitől, ahol a forgalom jelentős tényező. A városrészenkénti elemzésben a legnagyobb koncentráció ingadozást Lillafüred (3,66 szórás) és Ávasalja (3,46) mutatta, míg az ipari területeken a szórás minimális volt (pl. 0,12 a Mechatronikai Ipari Parkban). A téli hónapokban a szennyezettség kisebb térbeli változékonyságot mutatott, míg nyáron a helyi környezeti tényezők (pl. szél, párolgás) dinamikusabb eloszlást eredményeztek (Pecsmány P. et al. 2023; Szalontai L. et al. 2023;). Az eredmények rávilágítanak a low-cost szenzorok lehetőségeire és korlátaira is. Ugyanis, bár költséghatékonyan teszik lehetővé a részletes térképezést, a hivatalos monitorozáshoz további hitelesítés szükséges.

Összegzés

A kutatások egyik fő célja, hogy a szállópor-koncentráció mérése mellett azonosítsák a szennyezés fő forrásait, és hozzájáruljanak a levegőszennyezés csökkentésére irányuló stratégiák kidolgozásához. Ezen túlmenően kiemelten fontos a lakosság tájékoztatása a szennyezés egészségügyi hatásairól és a megelőzés lehetőségeiről.

A FIEK, HungAIRy és ÉMNL projektek keretében gyűjtött adatok nemcsak a tudományos kutatások alapját képezik, hanem hozzájárulnak a helyi önkormányzat döntéshozatalához is. Az adatok felhasználásával hatékonyabb közlekedési és fűtési szabályozások dolgozhatók ki, amelyek segíthetnek csökkenteni a szennyezőanyag-kibocsátást.

Köszönetnyilvánítás

Készült az RRF-2.3.1-21-2022-00014 azonosítószámú „Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium létrehozása” elnevezésű projektben a Magyarország Helyreállítási és Ellenállóképességi Tervének keretében, az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének támogatásával.

Irodalom

- [1] Báthory Cs. – Pecsmány P. – Szalontai L. – Palotás Á.B. (2019). Stationary and mobileparticulate matter concentration measurement in Miskolc. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 4, pp. 338–344. <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2019.4.38>.
- [2] Báthory Cs. (2023). Szálló por mérőhálózat fejlesztése Miskolcon. Doktori (PhD) értekezés, *Miskolci Egyetem Anyag- és Vegyészmérnöki Kar*. 169 p. <http://dx.doi.org/10.14750/ME.2023.048>
- [3] Monirul, I.M. – Masjuki, H.H. – Kalam, M.A. – Zulkifli, N.W.M. – Shancita, I. (2017). Influence of polymethyl acrylate additive on the formation of particulate matter and NOx emission of a biodiesel-diesel-fueled engine. *Journal of Environmental Science and Pollution Research* 24(18479-18493), <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9333-6>
- [4] Pecsmány P. – Hegedűs A. – Szamosi A. – Vágó J. – Dobó Zs. – Szalontai L. (2023). Szállópor (PM_{2,5}) koncentráció térbeliségének vizsgálata Miskolcon. In: *Abriha-Molnár V. É. (szerk.) Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában XIV.: Theory meets practice in GIS. Debrecen: Debreceni Egyetemi Kiadó*, pp. 205–211.
- [5] Pond, Z.A. – Hernandez, C.S. – Adams, P.J. – Pandis, S.N. – Garcia, G.R. – Robinson, A.L. – Marshall, J.D. – Burnett, R. – Skyllakou, K. – Rivera, P.G. – Karnezi, E. – Coleman, C.J. – Pope, C.A. (2022). Cardiopulmonary Mortality and Fine Particulate Air Pollution by Species and Source in a National U.S. Cohort. *Environmental Science & Technology* 2022 56 (11), 7214-7223. DOI: 10.1021/acs.est.1c04176
- [6] Sohrab, S. – Csikós, N. – Szilassi, P. (2022): Connection between the Spatial Characteristics of the Road and Railway Networks and the Air Pollution (PM₁₀) in Urban–Rural Fringe Zones. *Sustainability*, 14, 10103. <https://doi.org/10.3390/su141610103>
- [7] Szamosi A. – Hegedűs A. – Pecsmány P. – Szalontai L. (2024). Low cost szenzor tesztelése az Éghajlatváltozási Multidiszciplináris Nemzeti Labor 7b alprojekt keretein belül. Évf. 14 szám 4 (2024): *Multidiszciplináris Tudományok*. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2024.4.25>
- [8] Szalontai L. – Vágó J. – Hegedűs A. – Dobó Zs. – Pecsmány P. (2023). Extending PM_{2,5} data using multiple linear regression in the city of Miskolc, Hungary. In: Szabó N. P. – Virág Z. (szerk.): *Új eredmények a műszaki föld- és környezettudományokban* 2023. pp. 160-167.
- [9] Zichler Sz. – Ocskay R. – Salma I. (2007). Budapest Levegőszennyezettség Története, Levegő Munkacsoport. <https://mek.oszk.hu/09600/09668/09668.pdf>
- [10] WHO jelentése, 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2,5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Executive summary. ISBN 978-92-4-003443-3

A bizonytalanság tudománya: a káoszelmélet és megjelenése az életünkben

Benczik Izabella Júlia

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Eger

benczik.izabella@uni-eszterhazy.hu

„A determinisztikus káosz elve alapjaiban rengette meg az alaptudományok egész sorát, és a legdrámaibb szemléletváltást idézte elő az emberiség természetképében Sir Isaac Newton óta.”

(Edward N. Lorenz Kiotó-díjának indoklása, 1991)

Absztrakt

A bizonyosság és a bizonytalanság legszorosabb összefonódását a káoszelméletben figyelhetjük meg. Bár a káosz, a szó hétköznapi értelmében zűrzavarra utal, a káoszelmélet mégsem a véletlenszerű vagy kezelhetetlenül bonyolult rendszerek vizsgálatával foglalkozik. A káoszelmélet olyan egyszerű, determinisztikus törvényeket követő dinamikai rendszerek működését írja le, amelyekben a determináltság dacára, matematikai bizonyossággal megjelenik és állandósul az instabilitás, a bizonytalanság. Az ilyen rendszerek legfőbb jellemzője, hogy viselkedésük előrejelezhetetlen és megismételhetetlen. Ebben a rendetlenségben keresi meg a tudományos megalapozott rendet a káoszelmélet néhány mérőszám meghatározása által, melyek segítségével a kaotikus dinamika mennyiségileg is jellemezhetővé válik. Tanulmányunkban előbb röviden vázoljuk ezeknek a rendszereknek a főbb tulajdonságait, majd bemutatunk néhány biológiai, ökológiai, illetve klímadinamikai jelentőségű példát a káoszkutatás tárházából.

1. Bevezetés

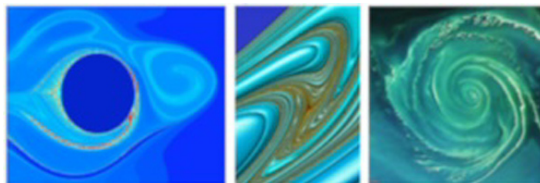
A pszichológiában a bizonytalanság intoleranciájának nevezik azt a kognitív hajlamot, amellyel agyunk a stabilitást részesíti előnyben a bizonytalansággal szemben. Így a bizonytalanság szónak hétköznapi értelemben is többnyire negatív jelentést tulajdonítunk: az emberi jellemben gyengeségként értelmezzük, egy vizsgán a felkészületlenség jeleként, mérésekben pontatlanságot jelöl, míg tudományos munkában megbízhatatlanságra utal, mely felszínes adatfeldolgozásra vagy téves elméletekre vezethető vissza. A bizonytalanság minden esetben olyan hiányosságot tükröz, amely elvileg javítható lett volna alaposabb felkészüléssel, pontosabb méréssel vagy szakmai kompetenciával.

Tudományos értelemben viszont vannak olyan rendszerek, melyekben a bizonytalanság nem javítható sem pontosabb méréssel, sem fejlettebb elmélettel. Ezekben már a rendszert vezérlő fizikai törvények hordozzák magukban (matematikai értelemben) a bizonytalanságot. Az ilyen rendszerek vagy jelenségek dinamikája előrejelezhetetlen kimeneteleket hozhat létre. Gondoljunk például az egyszerű, lehulló falevél esetére. Mozgása nem véletlenszerű, hiszen minden pillanatban a gravitáció és a légellenállás jól ismert, determinisztikus törvénye határozza meg. Mégis, a két hatás olyan instabil állapotokat hoz létre a falevél pályáján, amelyekből a mozgás a matematika törvényei alapján gyakorlatilag bármelyik irányban folytatódhat. Így lesz a falevél mozgása egyedi, előrejelezhetetlen és megismételhetetlen. Ez és az ehhez hasonló folyamatok vezetnek el minket a kaószelmélethez, amit éppen ez a típusú bizonytalanság hívott életre. Hiszen ha az instabil pontok létezése matematikailag kimutatható és leírható, akkor létezniük kell olyan eszközöknek is, amelyek statisztikai értelemben leírják ezeket a mozgásokat. Ilyen matematikai eszközöknek a feltárása és kidolgozása a kaószelmélet feladata, melyek alkalmasak lesznek majd a bizonytalanságból kiindulva a szabályok meghatározására és a tudományos előrejelzésekre.

A kaószelmélet határait érdemes ennél pontosabban is meghúznunk. Nem minden szabálytalan mozgás nevezhető kaotikusnak. Elsőként ki kell zárnunk azokat a véletlenszerű folyamatokat, melyeket nem determinisztikus törvények irányítanak (ezekben nem jelenhet meg kaosz). Ugyanígy el kell határolódnunk azoktól a komplex, sokkomponensű rendszerektől is, amelyek viselkedését rendszerszintű, átlagolt törvények, az ún. sztochasztikus törvények jellemzik (például a gázokat leíró molekuláris-kinetikus elméletek). És végül ki kell zárnunk a rendetlen állóképeket is (például egy játékokkal teleszórt gyerekszoba képét vagy egy rendetlen kamasz ruhásszekrényében uralkodó állapotokat). Ezeket hétköznapi értelemben ugyan gyakran minősítik kaosznak, de a kaószelmélet csak folyamatokkal foglalkozik, hiszen – értelemszerűen – a kaotikus rendszernek időben változnia kell ahhoz, hogy kimenetelét megjósolhatatlannak tekinthessük. Röviden összefoglalva tehát, a kaószelmélet kizárólag (i) kevés komponensű, egyszerű, (ii) dinamikus rendszerekkel foglalkozik, amelyeket (iii) determinisztikus törvények irányítanak, és amelyekben megjelenik és állandósul az instabilitás.

Mindezek után felmerülhet a kérdés, hogy egy laikus szemlélő képes-e eldönteni, hogy az általa megfigyelt rendszer kaotikus-e vagy sem. A válasz, néhány közismert példától eltekintve, általában nem. Egy rendszer kaotikus jellegének felismerése néha a kutatóktól is több év munkát követel, és néha nem is sikerül. Van azonban egy lényeges és általában látványos indikátora a kaotikusságnak, név szerint a fraktál mintázatok megjelenése. A fraktálok összetett, gyakran művészi benyomást keltő, fonalas szerkezetű vagy pontokból álló geometriai

alakzatok, amelyek önhasznóságot mutatnak, vagyis több nagyságrenddel fel-nagyítva vagy lekicsinyítve is az eredetihez hasonló mintázatot formáznak. Ilyen struktúrák figyelhetők meg például az atmoszférikus áramlásokban, az óceáni plankton örvénylő mintázataiban, vagy a folyóvizekben álló hídpillérek mögött kialakuló áramlási képekben (lásd 1. ábra). Ezek mind azt mutatják, hogy bár a kaotikus jelenségek szabálytalanok, a háttérben rejtett rend és geometriai szabályosság húzódik meg. Egy teljesen véletlenszerű vagy egy sztochasztikus rendszer soha nem képes fraktál geometriát létrehozni, tehát a fraktálszerkezet megjelenése megbízható azonosítója a kaotikus viselkedésnek.



1. ábra. Fraktálmintázatok. Balra és középen: sodródó részecskék eloszlása egy hídpillér (a sötétkék kör) mögött – numerikus szimuláció a szerző nem publikált munkáiból.
Jobbra: planktonvirágzás a Barents-tengeren (NASA 2018).

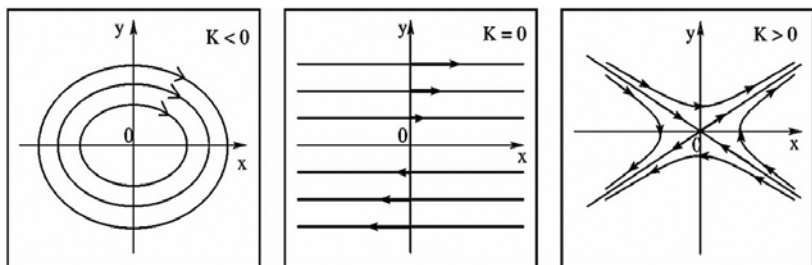
Gondot már csak az okozhat, hogy a fraktálszerkezet nem mindig jelenik meg közvetlenül a valós térben, látható formában. Csak az áramlási terek, azaz a hidrodinamikai rendszerek esetén áll elő az a kivételes helyzet, hogy a fraktál mintázat szemmel is megfigyelhető (nem véletlen, hogy az 1. ábrán három áramló folyadék képét hoztuk fel példának). Egyéb kaotikus rendszerek esetén a vizsgálatot egy elvont matematikai térbe, az úgynevezett fázis térbe kell áthelyezni, ahol a fraktál struktúrák láthatóvá válnak. Megjelenítésükhöz a kutatóknak több ezer mozgásegyenletet kell megoldaniuk és számtalan instabil pályát kiszámítaniuk, hogy ezek sokasága végül kirajzolja a fraktál apró kis részleteit.

Ez magyarázatot ad arra, hogy a káosz kutatás miért csak a 21. század előestéjén jelent meg. Noha a természeti jelenségek túlnyomó többsége kaotikus jellegű, az ezekre jellemző statisztikai törvények feltárása nagyszámú egyedi pálya numerikus meghatározását igényli, amihez elengedhetetlen volt a számítógépek széles körű elterjedése. Napjainkra azonban a káosz kutatás a természettudományok egyik legaktívabb kutatási területévé vált, így tanulmányunk elsődleges célja is az, hogy ízelítőt adjon néhány jelenleg is folyó kutatásból.

2. A káosz alapfogalmai

Elsőként fontos leszögeznünk, hogy egy rendszerről önmagában még nem dönthető el, hogy a dinamikája kaotikus lesz vagy sem: a perdöntő az, hogy az adott rendszer épp milyen paraméterértéken működik. Vegyük például a populációk

dinamikáját leíró logisztikus egyenletet, amely normál körülmények között a populáció egyenletes növekedését mutatja egészen a telítődésig. A paraméterek bizonyos kritikus értékénél azonban a népesség szabálytalanul ugrálni kezd, egyik pillanatban teljes kihalást, a következőben maximális telítettséget mutat, kaotikussá válik. Bár ez a dinamika teljesen irreálisnak tűnik, a hiba mégsem a modellben van, hiszen a valóságban, például sáskajárás vagy más rovarrajzások idején, épp ezt a viselkedést figyelhetjük meg. De számtalan további példát is említhetünk. Egy felfüggesztett vasgolyó ingamozgása például szabályosan ismétlődő, ám ha két mágnes közé helyezzük, szabálytalan, soha nem ismétlődő rángatózásba megy át. A Föld keringése a Nap körül szabályos, de a Plútó pályája már kaotikus. Egyértelmű a szabadesés, de a falevelek hullása szabálytalan. Ugyanez a különbség figyelhető meg a szív szabályos, ritmusos dobogása és a fibrilláció között is. Egyazon rendszer, más-más paramétereken mutathat szabályos és kaotikus dinamikát is.



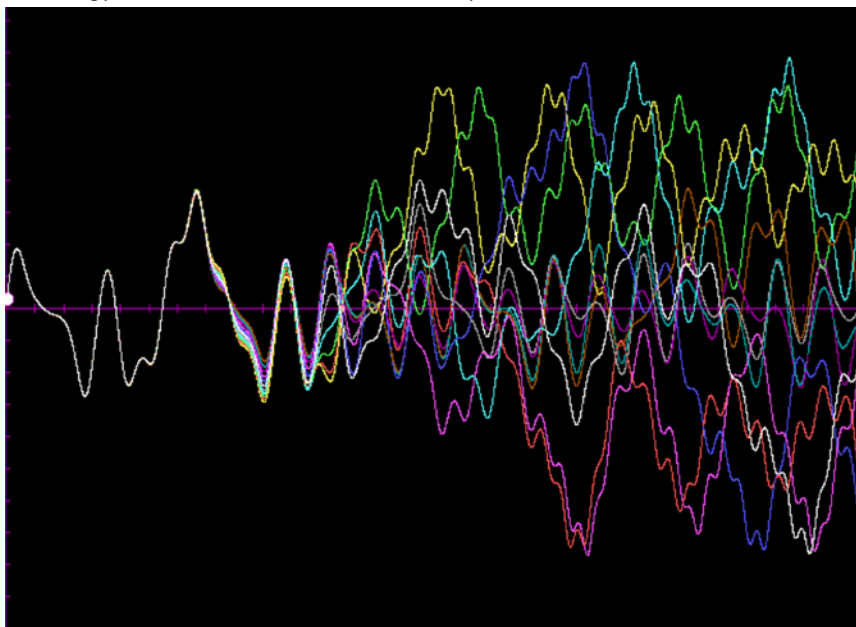
2. ábra. Egy áramlási modell (Benczik 2002) dinamikája különböző paraméterértékeknél. Kaotikus dinamika csak a jobb oldali ábrán látható instabil fixpont (nyeregpont) esetén várható.

Ezt a paraméterfüggőséget egy hidrodinamikai példán tudjuk legjobban szemléltetni. A 2. ábrán egy egyszerű áramlási modell (Benczik 2002) három különböző lehetséges viselkedését mutatjuk be, melyeket mindössze egy paraméter (az ábrán K) számértékének módosításával állítottunk elő. A bal oldali ábrán a folyadék körkörösén áramlik a vizsgált O pont körül, soha nem távolodva el attól (O pontot ekkor *stabil fixpontnak* nevezzük). A középső képen az áramlás laminárisává válik, majd a jobb oldali, számunkra fontos esetben az O pont *nyeregponttá* (ún. *instabil fixponttá*) alakul át: a nyilak mentén bevonzza a folyadékot, majd szintén a nyilak mentén eltávolítja azt. A vonzást jelző egyenest nevezzük *vonzó* vagy *stabil irányynak*, míg az O -tól távolodó nyilakkal jelölt egyenest *taszító* vagy *instabil irányynak*.

A kaotikus rendszerekben számos nyeregpont található, ezek alkotják az ún. *kaotikus nyereghalmazt*. A nyeregponatok száma végtelen, de nem töltik ki a teret, fraktált alkotnak. Bonyolult, egymásra gyakorolt hatásuk miatt a nyergek

taszító és vonzó irányai is megváltoznak, fonalas szerkezetű, kanyargó görbéké, ún. *stabil és instabil sokaság*gá válnak. Ha egy sodródó részecske a nyereghalmaz közelébe jut, újabb és újabb nyergek vonzáskörébe kerül, így hosszú időn át bolyong ebben a tartományban, végül az instabil sokaság mentén távozik, kiszökik. A sodródási vagy keveredési képeken, az atmoszférikus vagy óceáni műholdfelvételeken mindig az *instabil sokaság* képét rajzolják ki a sodródó részecskék (a nyereghalmaz és a stabil sokaság soha nem látható). A kaotikus tartományban töltött idő jellemzésére értelmezik a káosz egyik mérőszámát, a *szökési rátát*, amely számos alkalmazásban fontos gyakorlati jelentőséggel bír.

A 2. ábra nyeregpontján látható az is, hogy a taszító irány két, egymással ellentétes irányba távolítja a részecskéket, ha azok a stabil egyenes két különböző oldaláról indultak. Egy nyereghalmaz esetén ez a hatás sokszorozódik, ami az egymáshoz közeli részecskék exponenciális eltávolodásához vezet. Ez teszi megjósolhatatlanná a mozgást: már egy tizedmilliméteres eltérés a kiindulási pontban teljesen más pályát eredményez. Ez a tulajdonság terjedt el a köznyelvben *pillangóeffektus* néven, utalva arra, hogy egy pillangó szárnycsapása Brazíliában egy tornádó kialakulását is eredményezheti Texasban.



3. ábra. Pillangóhatás: 11 darab fizikai inga mozgásának fákyadiagramja (ELTE 2025) demonstrálja, hogy káoszban a kezdeti bizonytalanságok jelentős jövőbeli eltérésekhez vezetnek.

A pillangóhatás tehát azt fejezi ki, hogy a kaoszban a kezdeti bizonytalanságok jelentős jövőbeli különbségekhez vezetnek. Ezt demonstrálja a 3. ábra számítógépes szimulációja is (ELTE 2025), amelyben 11 darab azonos fizikai ingát indítottak el ugyanabból a helyzetből, alig észlelhető sebességkülönbséggel. Látható, hogy a kezdetben megkülönböztethetetlenül azonos útvonalat követő ingák hamarosan eltértek egymástól, és rövid idő alatt teljesen különböző mozgásokat végeztek. Az ilyen, a kezdeti eltérések exponenciális növekedését mutató ábrákat, fáklyadiagramoknak nevezzük.

Meg kell említenünk egy további fogalmat, az *attraktort*, amely disszipatív rendszerekben jelenik meg. Az attraktor lehet egyetlen pont vagy állapot (pontattraktor), illetve állhat állapotok végtelen sokaságából is, amelyek egy fraktálon helyezkednek el (különös attraktor). Az attraktort azok az állapotok alkotják, amelyek felé a rendszer hosszú távon tart. Ezt nem úgy kell elképzelnünk, hogy a rendszer megállapodik az attraktor egy kiválasztott állapotában, hanem folyamatosan „ugrál” a lehetséges állapotok között. A kaoszelmélet jól kidolgozott módszerekkel rendelkezik az attraktor állapotainak meghatározására, és azt is képes megadni, hogy egy-egy adott állapot milyen valószínűséggel következik be. Ennek a valószínűségi eloszlásnak az ismeretében a rendszert jellemző mennyiségek jövőbeli várható értékei is kiszámíthatóvá válnak. Ebben rejlik a kaoszelmélet ereje: teljesen bizonytalan mozgásokból kiindulva, teljes bizonyossággal megadhatja a rendszert jellemző mennyiségek jövőbeli átlagértékeit. Előrejelzi az előrejelezhetlent.

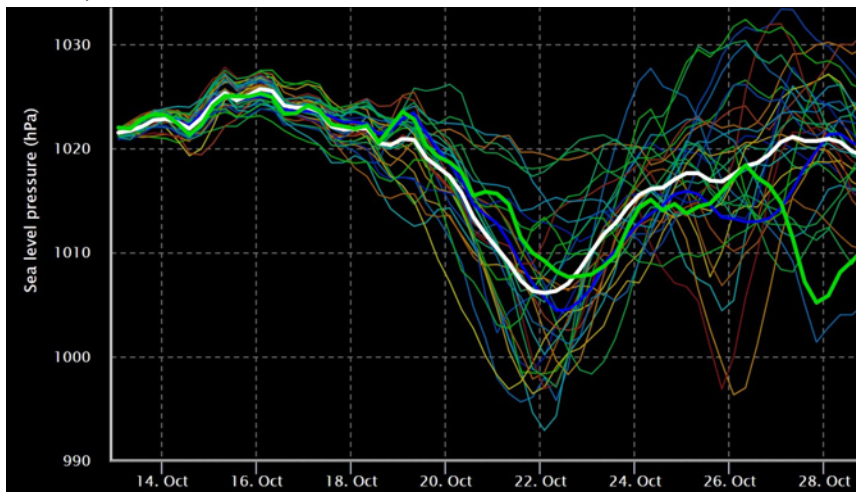
3. Kaosz az életünkben

A kaosz nem csak absztrakt matematikai terekben vagy célzottan kaotikusnak tervezett fizikai kísérletekben jelenik meg, hanem szerves része mindennapi életünknek. Az alábbiakban ilyen „életközeli” kaotikus jelenségekből állítunk össze egy válogatást, kezdve a globális léptékű folyamatoktól (például a klímadinamika), az ökológiai hálózatok szintjén át (például a biodiverzitás kérdése), le egészen az egyén szintjéig, ahol az emberi test néhány fizikai és neurológiai problémáját vizsgáljuk meg a kaosz prizmáján keresztül. A kaoszelmélet értékes magyarázatokat kínál e folyamatok megértéséhez, és olyan szemléletmódot nyújt, mely segít megtanulni, hogyan értékeljük és fogadjuk el a bizonytalanságot és a megbízhatatlanságot, legyen szó éghajlatunk alakulásáról vagy embertársaink viselkedéséről.

3.1. Kaotikus klíma

Amióta Edward Lorenz (1917–2008) amerikai matematikus és meteorológus, a pillangóhatás névadója, akit a szakmai közösség a káosz kutatás atyjaként tisztel, megalkotta matematikai időjárás-modelljét, és abban elsőként mutatta ki a kaotikus viselkedésből fakadó előrejelezhetetlenséget, általánosan elfogadottá vált, hogy a földi klíma és az időjárás kaotikus rendszert alkot. Lorenz modell-szimulációi igazolták, hogy a kezdeti feltételek legkisebb eltérései is egymástól gyökeresen eltérő időjárási forgatókönyvekhez vezethetnek.

Erről magunk is meggyőződhetünk, ha felkeressük a *wetterzentrale.de* honlapot, kiválasztunk egy helyszínt és időpontot, majd kérjük egy tetszőleges meteorológiai mennyiség előrejelzését. Az Eger légnyomására vonatkozó lekérés eredményét mutatjuk be az 5. ábrán a 2025. október 13-án mért értékből kiindulva. A honlap több előrejelzést is megjelenít egy ábrán. Ezekből látható, hogy az azonos kezdőfeltételből induló egyedi prognózisok kezdetben igen hasonló lefutást mutatnak, kb. három nap elteltével azonban szétválnak, és már egyértelmű kvalitatív tendencia sem állapítható meg belőlük. Szembetűnő az ábra hasonlósága az előző fejezetben bemutatott fákladiagrammal, ami jelzi, hogy a pillangóhatás és a káosz itt is jelen van. Bármilyen fejlett is legyen tehát egy időjárásmodell, néhány napnál hosszabb időtávra nem készíthet megbízható előrejelzést!



4. ábra. Pillangóhatás az időjárás előrejelzésekben: Eger légnyomásának változása a 2025. október 13-án mért értékből kiindulva a *wetterzentrale.de* alapján (a prognózisok fákladiagramja).

Noha az időjárás (vagy összetettebb esetben az éghajlat) időbeli alakulását a modellek hosszú távon nem képesek megadni, a kaoszelmélet, mint már említettük, lehetővé teszi az összes lehetséges jövőbeli állapot halmazának leírását. Szaknyelven fogalmazva: meghatározza a jövőbeli állapotok különös attraktort, amelyen az éghajlati állapotok jól meghatározott valószínűségi eloszlás szerint ugrálhatnak. Ennek a fraktál attraktornak a kiterjedése határozza meg a klíma ún. *belső változékonyságát*. Azt nem tudjuk megjósolni, hogy a belső változékonyságon „belül” melyik konkrét állapot mikor valósul meg, azt azonban pontosan meg tudjuk határozni, hogy mik lesznek az egyes éghajlati tényezők jövőbeli várható értékei.

A kaoszelmélet klasszikus módszerei azonban nem megbízhatóak olyan esetekben, amikor maga a rendszer nem állandó, hanem ún. *csúszó paramétert* tartalmaz (például a klímaváltozás esetében a légköri CO₂-koncentrációt), amely időben folyamatosan változik. Erre a problémára dolgozták ki a budapesti ELTE és az MTA–ELTE Elméleti Fizika Kutatócsoport kaoszkutatói az ún. *pillanatkép-megközelítést*, amely ilyen körülmények között is sikeresen alkalmazható (Bódai 2011). Köznelven megfogalmazva ez a megközelítés párhuzamos világok éghajlatait tételezi fel, és az értékeket nem a Föld egyetlen klímátörténetének időátlagai alapján számítja, hanem egy adott pillanatban sok lehetséges párhuzamos klíma sokaságátla alapján (Bódai 2017). A valóságban természetesen a földi klímának csak egyetlen megfigyelhető múltja van, numerikus szimulációk segítségével azonban, például a hamburgi Max Planck Intézetben kifejlesztett közepes komplexitású klímamodell, a Planet Simulator alkalmazásával, akár negyven párhuzamos földi klíma is előállítható, melyek mindegyike ugyanaból a múltbeli kezdőállapotból indul ki (Herein 2016). A pillanatkép-szemlélet (más néven sokaság-megközelítés) több mint másfél évtizede áll a kutatások középpontjában. Az ELTE-n kialakult, rendkívül termékeny és nemzetközileg is elismert műhely kutatói újfajta statisztikai eljárásokat dolgoztak ki, és elméletüket számos, eddig feltáratlan légköri jelenség vizsgálatára is kiterjesztették (Haszpra 2024).

3.2. Populációdinamika kaotikus élettérben: a planktonparadoxon

Éghajlatunk alakulásában fontos szerepet játszik az óceáni fitoplankton is, lévén bolygónk legnagyobb fotoszintézist végző élőtömege. A tengeri áramlásokkal passzívan sodródó, jellemzően fonalas mintázatokba rendeződő plankton számos kaoszkutató figyelmét is felkeltette, akiknek több, korábban megválaszolatlan problémára is sikerült fényt deríteniük.

Egyik ilyen probléma a planktonparadoxon. A klasszikus ökológiai elmélet, a kompetitív kizárás elve szerint egy élőhelyen az együttélő fajok száma nem lehet nagyobb, mint az ún. limitáló környezeti tényezők száma (például fény, tápanyag, megfelelő hőmérséklet). A plankton esetén ezek száma tíz körül van, tehát mindössze tíz faj fennmaradása volna várható. A valóságban azonban, paradox módon, 8000 planktonfaj is megtalálható egy köbcentiméter tengervízben. A látszólagos ellentmondásra a kaotikus tengeráramlások fraktál struktúrái adhatnak magyarázatot (Károlyi 2000). A plankton az instabil sokaság szálai mentén rendeződik el. Ha egy faj a kihaláshoz közeledve ritkulni kezd, fraktál ágai vékonyodnak, így közéjük tápanyagban gazdag víz áramolhat, ami felerősíti a fajt (a mechanizmus a *ritkaság előnye* néven is ismert). Az erősebb fajok vastagabb szálai viszont kiszorítják a tápanyagban gazdag vizet, ezáltal saját növekedésüket korlátozzák. E két hatás egyensúlya biztosítja mindkét faj számára a fennmaradást. Későbbi tanulmányok (Benczik 2006) kimutatták, hogy ez a mechanizmus kettőnél jóval több faj együttélését is lehetővé teszi, így biztosítva a biodiverzitást kaotikusan áramló életterekben.

3.3. Káosz gerjeszthető rendszerekben: a planktonvirágzás és az epilepszia

A planktondinamika egyik leglátványosabb jelensége az ún. planktonvirágzás (lásd 1. ábra), amely nem szó szerinti virágzást jelent, hanem a planktonpopuláció robbanásszerűen gyors növekedését. Ez természetes módon is előfordulhat, például az Észak-Atlanti-óceánban az évszakos változások hatására, vagy mesterséges óceánfertilizációs kísérletek során, amikor vas hozzáadásával idézik elő a planktonvirágzást.

Az ilyen extrém növekedések a gerjeszthető rendszerek sajátosságai, melyekben egy külső, küszöbértéket meghaladó inger hozza létre a kiugróan erős hatást. A planktondinamikát leíró gerjeszthető modelleken végzett numerikus szimulációk valóban reprodukálták a fertilizáció hatására létrejövő virágzás jelenségét, de nem magyarázták meg annak térbeli kiterjedését. Ekkor Neufeld és munkatársai (Neufeld 2002) a planktondinamika hátterében húzódó kaotikus áramlás perspektívájából közelítették meg a problémát, és így sikerült kimutatniuk, hogy egy lokális fertilizáció hatása az instabil sokaságok fonalai mentén továbbterjedhet, olyan nagyléptékű, kiterjedt virágzást eredményezve, amely az Észak-Atlanti-óceán tavaszi virágzásával is összemérhető.

Bármilyen meglepő, de a planktonvirágzás leírására használt, térbeli és időbeli káoszt is tartalmazó gerjeszthető rendszerhez nagyon hasonló modellel az Oldenburgi Egyetemen Ulrike Feudel kutatócsoportja egy egészen más természetű jelenséget vizsgált, név szerint az epileptikus rohamok megjelenését. Az agy normál működése esetén az agyhullámok lassú, de szabálytalan térbe-

li terjedése figyelhető meg. Epilepsziás roham esetén azonban az agy bizonyos területein hirtelen nagyszámú neuron kezd el szinkronizáltan pulzálni, ami a betegen eszméletkiesés és görcsrohamok formájában jelentkezik. A klinikai megfigyelésekkel összhangban a numerikus szimulációk híven visszaadták ezeket a viselkedésformákat, de kimutatták azt is, hogy a terjedő hullámok és a szinkronizált pulzálási szakaszok közötti váltások, bár véletlenszerűnek tűnnek, valójában kaotikus mintázatot követnek. A csoport a dinamika hátterében egy kaotikus nyereghalmaz jelenlétét is azonosította, amely az önindukált rohamokat vezérli (Ansmann 2016). Eredményeik új szemléletet hoztak ezeknek a neurológiai jelenségeknek a leírásába, és hozzájárultak az agyban vagy a szívben megfigyelhető mintaváltások jobb megértéséhez.

3.4. Az érlemeszesedés és a káosz

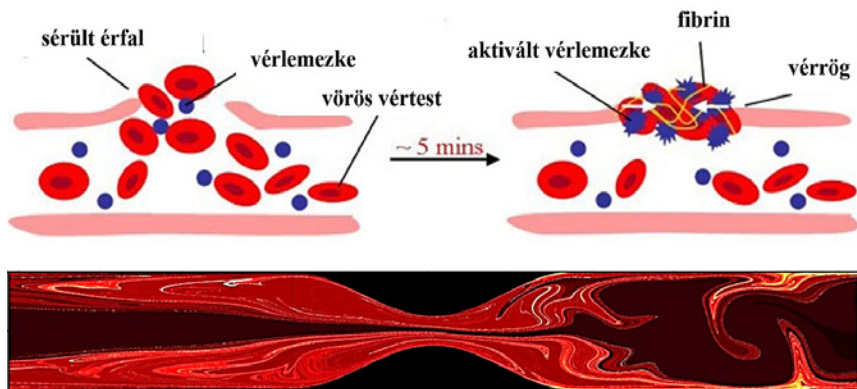
Számtalan forrásból hallhatjuk és olvashatjuk az egészséges életmód és az egészséges táplálkozás fontos szerepét a szív- és érrendszeri betegségek megelőzésében, amelyek napjainkra a világ vezető halálokává váltak. Különösen sok haláleset írható az ateroszklerózis (érlemeszesedés) számlájára, mely során plakkok és vérrögök (trombusok) képződnek az érfalakon, melyek leszakadva életveszélyes érelzáródást okozhatnak, például szívinfarktus vagy stroke formájában.

Bár a szív és az érrendszer vizsgálata az orvostudomány tárgykörébe tartozik, újabban egyre több fizikusokból álló kutatócsoport foglalkozik e jelenségek áramlástani vizsgálatával. Említhetjük például az Aberdeen-i Egyetem (Schelin 2009; Schelin 2010), a Göttingeni Egyetem (Kleider 2010; Sandmann 2016), a São Pauló-i Egyetem (Silva 2020), a drezdai Max Planck Intézet (Benczik 2017), valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (Závodszy 2016) munkatársait. Céljuk, hogy hidrodinamikai szempontból is megvizsgálják, miként befolyásolják a véráramlás sajátosságai a plakkok kialakulását.

Miért gondolják a fizikusok, hogy a véráram hidrodinamikai vizsgálata többet segíthet, mint az életviteli jótanácsok? Elsősorban azért, mert a vaszkuláris fiziológiát alapvetően a vér áramlásmechanikai tulajdonságai határozzák meg. Az érlemeszesedés is az artériák azon részein alakul ki, ahol a véráramban valami diszturbanciát okoz, például az elágazódások, érhajlatok, sztentek, értágulatok vagy az érszűkületek. Ismert tény az is, hogy az elágazásoknál már az újszülöttek ereiben is létezik egy enyhe krónikus gyulladás, amely idősebb korban, és további kockázati tényezők (cukorbetegség, elhízás, mozgáshiány vagy dohányzás) hatására ateroszklerotikus plakkokká alakulhat. De mivel a rizikófaktorok az egész érrendszerben egyformán jelen vannak, a plakkok viszont csak ott alakulnak ki, ahol az áramlás zavart mutat, arra következtethetünk, hogy az áramlási zavarok felelősek elsősorban a plakkképződésért, nem a kockázati tényezők.

Különösen fontosak azok az érterületek, ahol a véráramlás kaotikus viselkedést mutat. A vér, viszkozitásánál fogva, jellemzően nem kaotikus. Schelin és munkatársai azonban kimutatták (Schelin 2009), hogy patológiás helyzetekben, például koszorúér-szűkületnél (sztenózis) vagy a hasi aorta tágulatainál (aneurizma), az áramlás kaotikus mintázatot, fraktálszerkezetet mutat (lásd 5. ábra alsó panel). A kaotikus tartomány a besszűkült rész környezetében jelenik meg, a távolabbi szakaszokon az áramlás továbbra is sima és lamináris marad.

Itt vissza kell utalnunk arra, hogy a kaotikus nyereghalmaz megjelenése arra kényszeríti a közelébe sodródó részecskéket, hogy hosszú időn át bolyongjanak a nyeregpontok között (a 4. ábrán a piros szín világosabb árnyalatai jelzik ezeket a hosszabb tartózkodási idejű zónákat). Hogy belássuk ennek fontosságát, szót kell ejtenünk a plakkképződés mechanizmusáról. Az ateroszklerotikus lerakódásokért ugyanazok a trombociták (vérlemezkék) a felelősek, amelyek a vérzést elállító vérrögöt hozzák létre az érfal sérülésekor. A trombociták normál esetben passzívan sodródnak a véráramban. Amikor viszont megsérül az ér fala, különböző fehérjék hatására a trombociták aktiválódnak, eredeti lencse alakjukat gömbszerűre változtatják, állabakat növesztenek, amelyekkel egymáshoz kapcsolódnak és kitapadnak az ér falára, elállítva ott a vérzést (lásd 5. ábra, felső panel). Ez a folyamat nagyjából öt percet vesz igénybe.



5. ábra. Felső panel: a trombus-képződés mechanizmusa (Benczik 2017).
 Alsó panel: kaotikus véráramlás fraktálmintázata érszűkület esetén (Schelin 2010).

Ezen a ponton már megérthetjük, hogy a káosz miért kedvez a plakkok kialakulásának. A kaotikus nyereghalmaz megnöveli a trombociták tartózkodási idejét a kaotikus tartományban, amely így elegendő lesz a letapadáshoz. Kaotikus áramlás nélkül ezek a trombociták egyszerűen tovább sodródnának még mielőtt az aktiválás végbemegy, és a plakk nem jönne létre.

A tartózkodási idő pontos értékének ismerete tehát kulcsfontosságú, egyrészt a trombusok kialakulási helyeinek feltérképezésében, másrészt a trombus növekedési ütemének megjósolásában. Itt válik szükségessé a káosz kutatók közreműködése, akik modelláramlásokon vagy valós páciensektől származó aorta-felvételeken végzett numerikus szimulációk segítségével meghatározzák a káosz releváns mérőszámait (szökési rátákat), melyek révén egy új, hidrodinamikai szemszögből is hozzájárulnak a fatális esetek megelőzéséhez és a célzott terápiák kidolgozásához.

4. Záró gondolatok

Tanulmányunkban olyan kaotikus rendszereket sorakoztattunk fel, amelyek közvetlenül vagy közvetve megjelenhetnek mindennapi életünkben. Tettük ezt azért, hogy rámutassunk, hogy a káosz nem egy elszigetelt matematikai kuriózum, hanem a tudományágak széles körében, a nagyságrendek és időskálák szinte teljes spektrumában fellelhető jelenség.

Példáink legfontosabb üzenete az, hogy a világban a kiszámíthatatlanság nem hiba, hanem alapvető tulajdonság. El kell tudnunk fogadni, hogy léteznek jelenségek, amelyek pontos lefolyása elvileg sem ismerhető meg. Be kell látnunk azt is, hogy a valószínűségi leírások éppen olyan megbízhatóak lehetnek, mint a pontos végkimenetek ismerete.

Le kell vetköznünk a káosz és a bizonytalanság fogalmához társított negatív előítéleteinket is. A káosz nem „szükséges rossz”, hiszen példáink nagy részében kifejezetten kedvező hatású: elősegíti a fajok fennmaradását, hatékonyabbá teszi a planktonvirágzást, ami által kedvezően befolyásolja bolygónk oxigénháztartását. Az epilepsziás rohamok esetén pedig kifejezetten egy kaotikus neurostimulációs jellel szüntethetjük be leghatékonyabban a neuronok kórosan rendezett pulzálását. Meg kell tanulnunk tehát új perspektívából tekinteni a bizonytalanságra és káoszra, mert ez a fejlődésünk és megújulásunk záloga.

Irodalom

- Ansmann, G. et al. (2016) *Self-induced switchings between multiple space–time patterns on complex networks of excitable units*. Physical Review E, 94 (5), 052412.
- Benczik I.J. et al. (2002) *Selective sensitivity of open chaotic flows on inertial tracer advection*, Phys Rev Lett. 89(16) 164501.
- Benczik, I.J. et al. (2006) *Coexistence of inertial competitors in chaotic flows*, Chaos 16: 4 Paper: 043110.
- Benczik, I.J. & Károlyi, Gy. (2017) *Chaotic models with biological relevance: signatures of chaos in the blood flow*, conf. proc. microCAD IMSC, Miskolc, p. C2/1.

- Bódai, T. et al. (2011) *A chaotically driven model climate: extreme events and snapshot attractors*, Nonlin. Proc. Geophys., 18, 573–580.
- Bódai, T. et al. (2017) *A párhuzamos földi klímák elmélete*. Magyar Tudomány 178, 188–201.
- ELTE (2025) *Elektronikus fizika tananyagok: Mi a káosz?* <http://theorphys.elte.hu/fiztan/chaosH/Chaos2H.html> (letöltve: 2025. október 22.)
- Haszpra, T. et al. (2024) *A pillanatkép-megközelítés az éghajlatváltozás vizsgálatának szolgálatában*, Légkör - szakmai tájékoztató folyóirat, 69. évf. 3. sz. 150–212.
- Herein, M. et al. (2016) *Probabilistic concepts in intermediate-complexity climate models: A snapshot attractor picture*. J. Climate 29, 259–272.
- Károlyi, Gy. et al. (2000) *Chaotic flow: the physics of species coexistence*, PNAS 97: 25 p. 13661.
- Kleider, M. (2010) *Thrombus formation near wall irregularities: a minimal chaotic advection model*, Bsc. Thesis, Univ. Göttingen.
- NASA (2018) <https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/summer-blooms-in-the-baltic-and-barents-92462/>
- Neufeld, Z. et al. (2002) *Ocean fertilization experiments may initiate a large scale phytoplankton bloom*, Geophys. Res. Lett., 10.1029/2001GL01
- Sandmann R. & Köster, S. (2016) *Topographic cues reveal two distinct spreading mechanisms in blood platelets*, Scientific Reports 6, 22357.
- Schelin, A.B. et al. (2009) *Chaotic advection in blood flow*, Phys. Rev. E 80, 016213.
- Schelin, A.B. et al. (2010) *Fractal structures in stenoses and aneurysms in blood vessels*, Philos. Trans. A 368 (1933), p. 5605.
- Silva, I.M. et al. (2020) *Transport of blood particles: Chaotic advection even in a healthy scenario*, Chaos 30 (9) 093135.
- Závodszky, G. et al. (2016) *Fractals and chaos in the hemodynamics of intracranial aneurysms*, Fractal Geometry of the Brain, p. 263.



Benczik Izabella

Bernert Zsolt



Juhász Tibor

Kertész Ádám





Szalontai Lajos

Török Zsolt Győző



Pajtókné Tari Ilona

Váczy Kálmán Zoltán





Tardy János



Boros Emil, Dévai György

A Konferencia helyszíne (Díszterem)





Bizonyosságok és bizonytalanságok a tudományban IV.

Társrendező

MTA TABT Debreceni Területi Bizottság
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Kolozsvári Kar

A Konferenciasorozat szervezői

Prof. Dr. Dévai György, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály elnöke

Prof. Dr. Gyulai Ferenc, az MTA doktora,
az MTT Biológiai Szakosztály társelnöke

Dr. Tardy János, PhD, c. egyetemi tanár
az MTT üv. elnöke

A Konferencia fővédnöke

Dr. Réthelyi Miklós
az MTA doktora, az UNESCO Magyar Nemzeti Bizottság elnöke

2025. március 25.

MTA TABT Debreceni Területi Bizottság
(földszint, Bogár Rezső terem)
4032 Debrecen, Thomas Mann u. 49.



PROGRAM

10:30–10:00 **Köszöntések**

Dr. Rácz András, természetvédelemért felelős államtitkár (AM)

Prof. Dr. Páles Zsolt, az MTA rendes tagja, az MTA TABT Debreceni Területi Bizottság elnöke

Dr. Tonk Szende, habilitált egyetemi docens, Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Kolozsvári Kar

Előadások I.

Levezető elnök: **Prof. Dr. Magura Tibor**, az MTA doktora, ökológus, tanszékvezető egyetemi tanár, az MTA TABT Debreceni Területi Bizottság Biológiai és Ökológiai Szakbizottság elnöke (Debreceni Egyetem, TTK, Ökológiai Tanszék)

11:00–11:20 **Prof. Dr. Szekanecz Zoltán**, az MTA doktora, orvos (reumatológia, immunológia, belgyógyászat), tanszékvezető egyetemi tanár (Debreceni Egyetem ÁOK Reumatológiai Tanszék)
„Bizonyítékok vs hiedelmek a medicinában.”

11:20–11:40 **Prof. Dr. Farkas Csaba**, PhD, Dr. habil., matematikus, egyetemi tanár, rektorhelyettes, (Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Matematika-Informatika Tanszék)
„Bizonyosságok és bizonytalanságok a matematikában.”

- 11:40–12:00 **Dr. Miklóssy Ildikó**, PhD, biotechnológus, egyetemi docens (Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Kar, Biomérnöki Tanszék)
„Bizonyosságok és bizonytalanságok a biotechnológiában.”
- 12:00–12:20 **Dr. Demeter András**, PhD, zoológus, természetvédelmi biológus, független kutató
„Jönnek! De mik, hol és mikor? Az idegenhonos inváziós fajok előrejelzésének lehetőségei és korlátai.”
- 12:20–13:40 Ebédfogadás

Előadások II.

- Levezető elnök: **Dr. habil. Tonk Szende**, PhD, vegyész, egyetemi docens, (Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Kolozsvári Kar, Környezettudomány Tanszék)
- 13:40–14:00 **Prof. Dr. Szép Tibor**, az MTA doktora, ökológus, egyetemi tanár (Nyíregyházi Egyetem Környezet- és Természettudományi Intézet & Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület)
„Változások kora – Tények a hiedelmekkel szemben a hazai madárvilág és a biológiai sokféleség helyzetéről a madarak monitorozása révén.”
- 14:00–14:20 **Prof. Dr. Szilávik Lajos**, PhD, hidrológus mérnök, egyetemi magántanár (Nemzeti Közszolgálati Egyetem), a Magyar Hidrológiai Társaság tiszteletbeli elnöke
„Csak szembesülünk, vagy nézzünk is szembe az árvízszintek emelkedésével?”

- 14:20–14:40 **Prof. Dr. Turcsányi Károly**, az MTA doktora, okleveles közlekedésmérnök, professor emeritus (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
„Bizonyosságok és bizonytalanságok Közép-Ázsia geopolitikai szerepének lehetséges átalakulásánál.”
- 14:40–15:00 **Prof. Dr. Ódor László**, PhD, művelődéstörténész, egyetemi magántanár (Budapesti Corvinus Egyetem), magyar nagykövet Svájcban (1990–1994)
„Fogalmak zavara bennünk és körülöttünk: vagyis miért vagyunk nyögvenyelősen otthon szeretett kontinensünkön, Európában?”
- 15:00–15:20 **Prof. Dr. Grigorszky István**, PhD, hidrobiológus, tanszékvezető egyetemi tanár (Debreceni Egyetem, TTK, Hidrobiológiai Tanszék)
„Bizonyosságok és bizonytalanságok az algológiában, avagy amitől még a szent dolgok is félre mennek.”
- 15:20–15:45 Kérdések, hozzászólások és válaszok

Bizonyítékok vs hiedelmek a medicinában

Szekanecz Zoltán

Debreceni Egyetem ÁOK, Reumatológiai Tanszék, Debrecen

szekanecz.zoltan@med.unideb.hu

Bevezetés - evidenciaszintek

Az orvoslás talán az a terület, ahol a legkifejezettebb a bizonyítékok és a hiedelmek kettőssége. Nem véletlen, hogy a XX.-XXI. században a nyugati medicina gyakorlatában a bizonyítékokon alapuló orvoslás (evidence-based medicine; EBM) elveit kell, hogy kövesse. Ennek ellenére természetesen számos nem bizonyítható hatású „gyógyszer” és egyéb eljárás terjedt el, melyet, főleg a kétségbeesett betegek előszeretettel alkalmaznak. Igen nehéz őket meggyőzni, hogy csak az EBM-nek megfelelő módszereket gyakorolják (1).

Klinikai vizsgálatok szintjei
I. Megfelelő számú esetet magába foglaló, randomizált kontrollált klinikai vizsgálat, amelyben az alkalmazott módszerek miatt kicsi a szisztematikus hiba (az ún. torzítás) lehetősége.
II. Az eredmények jó minőségű kohorsz vagy eset-kontroll vizsgálatok szisztematikus irodalmi áttekintéséből, vagy olyan jó minőségű kohorsz vagy eset-kontroll vizsgálatokból származnak, melyekben nagyon alacsony a szisztematikus hiba és a zavaró hatások esélye, vagy olyan randomizált kontrollált vizsgálat, mely nem minden szempontból kifogástalan módszertannal készült.
III. Minden egyéb kontrollált vizsgálat (ideértve például az ún. „történelmi kontroll” csoport alkalmazását, vagy az önkontrollos vizsgálatokat is).
IV. Kontroll nélküli vizsgálatok, esetsorozatok, esetismertetések, szakértői vélemények.
Evidenciaszintek
A. Több randomizált klinikai vizsgálat vagy metaanalízis adatai.
B. Egy randomizált klinikai vizsgálat vagy nagy nem randomizált klinikai vizsgálatok adatai.
C. Szakértői konszenzus és/vagy kis vizsgálatok, retrospektív elemzések, regiszterek adatai.

1. táblázat. A klinikai vizsgálatok és evidenciák szintjei.

A tudományban és a klinikai vizsgálatokban a bizonyítékoknak több szintje van. Az I. szintű bizonyíték az, amely megfelelő számú esetet magába foglaló, randomizált kontrollált klinikai vizsgálat eredményeiből eredeztethető. Ma a legtöbb gyógyszer csak akkor kerülhet be a gyakorlatba, ha hatékonyságukat I. szintű evidenciák igazolják. A II. szintű eredmények jó minőségű klinikai vizsgálatok szisztematikus irodalmi áttekintéséből, vagy olyan jó minőségű kohorsz vagy eset-kontroll vizsgálatokból származnak, melyekben nagyon alacsony a szisztematikus hiba esélye. Ide tartoznak azon randomizált klinikai vizsgálatok is, melyek módszertana nem tökéletes. A III. szintű bizonyíték minden egyéb kontrollált vagy önkontroll vizsgálat kimenetelét jelenti. Végül, a IV. szintű evidencia kontroll nélküli kutatásokból, esetsorozatokból, szakértői véleményekből eredeztethető (2). Mindezek alapján határozható meg egy adott szakmai ajánlás ereje. E tekintetben A evidenciaszinttel rendelkeznek azon szakmai ajánlások, protokollok, melyek több randomizált klinikai vizsgálat vagy metaanalízis eredményei alapján készültek. B evidenciaszintet jelentenek egy randomizált, vagy nem randomizált vizsgálat adatai. Végül, C evidenciaszint az, amikor szakértői konszenzus, regiszteradatok, kis, retrospektív vizsgálatok alapján készült az ajánlás (2).

Az EBM jellemzői, hogy nagy beteganyagon (több száz, ezer betegen) végzett vizsgálat alapján igazolták pl. egy gyógyszer hatékonyságát; randomizált, kontrollált vizsgálatot végeztek; a vizsgálat követéses (longitudinális) volt (nem keresztmetszeti); hosszú ideig (hónapokig, évekig) követték a betegeket; a végpont „kemény”, azaz valamilyen történéshez (pl. halálozás, infarktus, daganat kialakulása) köthető a cél; a legtöbb paramétert (pl. fájdalom, szubjektív állapot, károsodás, funkció, életminőség), illetve az azokban a beavatkozás hatására bekövetkező változásokat számszerűsített formában, pontozóskálákkal mérték fel; a vizsgálóhely mind a személyzet, mind az infrastruktúra szempontjából megbízható; legjobb ha több vizsgálat szisztematikus áttekintéséből és/vagy metaanalíziséből származik a következtetés (1).

Ajánlások, irányelvek

Orvosszakmai szempontból a helyes klinikai gyakorlatra (good clinical practice; GCP) vonatkozóan a legnagyobb erejű szakmai iránymutatás az *irányelv* (guideline). Itt lényegében azt fogalmazzák meg, hogy mit KELL tennie az orvosnak. Ez a forma egyes országokban (pl. USA) akár jogi erővel bírhat. Ezt követi az *ajánlás* (recommendation). Európában inkább ajánlások születnek, melyek betartása ajánlott, de jogi következménye kisebb. A *megfontolás* (points to consider) olyan pontokból áll, amelyeket az orvos figyelembe vehet praxisa során. Végül a *szakértői vélemény* (expert opinion) egy szakértő orvosi csoport

által megfogalmazott „véleményt” jelenti. Ez magában foglalja azt is, hogy az ebben megfogalmazottak csupán egy álláspontot jelentenek, jogi vonatkozásai nincsenek (3).

Néhány példát említsünk a reumatológiából... Az Amerikai Reumatológiai Kollégium (ACR) 2021-ben irányelveket fogalmazott meg a rheumatoid arthritis (RA) kezeléséről (4). Ugyancsak az RA gyógyszeres kezeléséről az Európai Reumatológiai Társaságok Szövetsége (EULAR) ajánlásokat publikált (5). Ugyancsak az EULAR megfontolandó pontokat tett közzé azzal kapcsolatban, hogy az RA-ra hajlamos betegekben milyen elvek szerint javasolt klinikai vizsgálatokat végezni (3). Végül, egy szakértői csoport fogalmazott meg véleményt a köszvény kezeléséről (6).

Hiedelmek, „kamuk”

A fentiekben láttuk, hogy a medicinában eléggé szabályozott elvek szerint, meghatározottan kell a klinikai vizsgálatokat lefolytatni, az eredmények erősségét értékelni és ezek után felhasználni a klinikai gyakorlatban, a betegek gyógyításában. Ezek az adatok, bizonyítékok, ajánlások rendszerint komoly orvosi lapokban jelennek meg, és a gyakorló orvos ennek mentén kell, hogy végezze gyógyító tevékenységét (1, 2).

Az orvostudomány egyértelmű fejlődése ellenére természetesen számos betegség nem gyógyítható. Ezért a betegek a XXI. században is keresik a megoldást és gyakran fordulnak olyan forrásokhoz, ahol adott esetben nem megfelelően bizonyított hatású terápiás eljárásokat találnak. A hazai reklámtörvény is lehetővé teszi, hogy szinte bármilyen készítménnyel kapcsolatban megjelenhessenek, gyakran ellenőrizhetetlen forrásból származó hirdetések. A betegek szinte bármilyen gyógyhatású vagy annak vélt csodaszert korlátozás nélkül megvásárolhatnak az online térben (7). Az elmúlt évtizedekben már nemcsak a nyomtatott sajtóban jelennek meg nagy számban ilyen promóciók. Az internet megjelenése lehetővé tette a „kamu” hirdetések elterjedését (7). Újabban pedig, a mesterséges intelligencia (AI) segítségével (deepfake), ismert emberek „szájába adnak”, gyakran botrányosan, fals információkat (8-10).

Ami a „kamu” újság- és internetes hirdetéseket illeti, számos ismerv alapján kiszűrhető, hogy a hirdetett termék és a hirdetés nem komoly. Az 1. ábra mutat egy ilyen példát. Azonnal szembeötlik a nagy betűkkel írt CSUDASZER, amely megragadja a figyelmet. Túlzó, áltudományos magyarázatokkal igyekeznek becsapni a potenciális vevőt, minden oldalról erőszakosan állítva, hogy a termék mennyire hatásos. Az összetevők megnevezésekor ismert gyógynövények szinonim elnevezéseit használják, hogy ettől egzotikusabb legyen az egész. Agresszív,

A megtévesztés gyakran alkalmazott elemei digitális térben

Az orvosok megdöbbentek!

CSUDASZER

Liposzómás mikroterjedésű szövetek mélyreható energizálásával detoxikál, méregtelenítés sejt szintű szomjúság antioxidánsok szabadgyökök paraziták elleni védekezésben kiváló.

Nincs mellékhatása, mert természetes!

Korlátozott számú akciós csomagok: 15
Jelenleg 86-an látogatják oldalunkat

Dr. Med. Univ. Hans Nichtvorhanden
A luxemburgi Inexistant Tudományegyetem professzora

A gyógyszerlobbi titkja, hogy a **CSUDASZER** gondosan válogatott növényi hatóanyagok kompozíciója, ami – szinergikus működése révén – intenzíven redukálja a zsírszövetet koncentrált aktív hatóanyagait és olajos réteggel vonja be a gyomor receptorait.

MEGVESZEM!

50% árengedmény
37 000 HUF helyett
MOST 18 500 HUF!

13:42:05
óra perc másodperc

Nem Béla Nagyon erősen hullott a hajam. Ez már a 4. nap a CSUDASZER fogyasztása után jelentősen csökkent és 1 hét alatt teljesen megszűnt! Nagyon boldog vagyok.

Fiktív Henrietta Remélem, hogy minél több beteg megtudja a CSUDASZER hatását. Ez tényleg jó hatású az apám számára, és segített neki 25 év után injekciók, műtét, kórház nélkül.

Nemlétező Pál Eleinte szkeptikus voltam, feleségem hallott a CSUDASZER-ről egy kollégájától, és beletett egy év hogy meggyőződj, hogy próbáljam ki. De tényleg segített! 2 hónapja használok.

Sosemvolt Éva Csak próbáld ki! Ne legyél szkeptikus az új dolgokra ... majdnem az életembe került! A CSUDASZER engem újjászülötté tett, én csak azt mondom köszönöm!

MEGVESZEM!

13:42:05
óra perc másodperc

Fizessen utánvételt készpénzben!

ARNAQUE Ltd.
9, Avenue Populaire Républicaine, Mahe, Seychelle-szigetek

Sokféle, egymástól különböző betegség kezelésére alkalmazható „orvosság”. Túlzó állítások, áltudományos magyarázatok, semmitmondó szövegek. Ezek az oldalakon nagy hangsúlyt fektetnek arra, hogy a betegség és a reklámozott termék „jótékony” hatásairól részletes felvilágosítást adjanak. Az összetevők megnevezésénél gyakran ismert gyógynövények szinonim neveit használják egzotikusságot sugallva. Helytelen nyelvtani alakok utalhatnak automatikus fordító használatára.

Agresszív, azonnali vásárlásra ösztönző üzenetek, képek.

Fiktív szakértő, ismeretlen orvos (képügynökségi fényképpel) hivatkozik a szerrel végzett csodálatos hatásokra, kiemelkedő eredményeire, nem létező tanulmányokra utalva.

Agresszív, azonnali vásárlásra ösztönző üzenetek, képek.

Vásárlói vélemények – nem létező emberek beszámolóí sikereikről, csodálatos gyógyulásairól képügynökségektől vásárolt fényképekkel keltve a valóság látszatát.

„Eredetiséget” igazoló áltanúsítványok fényképei. Fiktív nyilvántartási számok.

Nem biztonságos fizetési módszer vagy utánvétes küldemény, hogy ne legyen nyoma a tranzakciónak.

Kontakt információ: nincs kapcsolattartó személy, csak külföldi, gyakran tengerentúli címek vagy postafiók.

1. ábra. A megtévesztés gyakran alkalmazott elemei digitális térben (7)

azonnali vásárlásra ösztönző, akár akciót hirdető üzeneteket, képeket tartalmaz. Egy magabiztosságot, bizalmat sugárzó ismert „professzor”, egy megnyerő képpel illusztrálva ajánlja a terméket. (Természetesen rákeresve kiderül, hogy az adott professzor nem létező, fiktív személy.) Esetenként akár szakmai társaságokat is idézhetnek. Nem létező korábbi „vásárlók” véleményeit is citálják. Ők mind „igazolják”, hogy az általuk megvásárolt termék mennyire hatékony, azzal mennyire elégedettek. (Az olvasó gyakran jobban hisz más „betegtársak” véleményének, mint a bizonyítékoknak.) A hirdetés alján „eredetiséget” igazoló fiktív tanúsítványok, pecsétek vannak. A megadott kontakt információ (weblap, email cím) gyakran fiktív, külföldi szerverre mutat (7).

Az utóbbi időben elterjedő AI képes arra, hogy egy komoly videoban szereplő személyek szájmozgását megváltoztassa, és összehangolja a szintén AI által generált gépies szövegre. Vegyük például Friderikusz Sándor YouTube videóit. Az AI képes a műsorvezető hangjához megtévesztésig hasonlító beszédhangot generálni, így a riporter elmondhatja, hogy milyen csodaszert kellene a nézőnek alkalmaznia. Ráadásul szájmozgása is követi az elmondott szöveget. Az utóbbi időben több ismert személy (Friderikusz mellett Karikó Katalin, Koncz Zsuzsa, Schwab Richárd, Merkely Béla és mások) „szájába adtak” ilyen üzeneteket. Utóbbiak általában egy betegség (magas vérnyomás, reuma, bőrbetegségek, stb.) meggyógyítására alkalmas készítményt ajánlanak. Nem ritkán még le is beszél a nézőt, hogy az orvosok által rendelt gyógyszereket használják (8-10).

Összefoglalás

Az orvostudomány jó példája a bizonyítékok és hiedelmek gyakran ellentmondásos kettősségének. Egyrészt törekszünk az EBM minél szélesebb körű alkalmazására, és megfelelően bizonyított hatású, kutatási adatokkal alátámasztott gyógyszerek és nem-gyógyszeres eljárások rendelésére. Ezzel párhuzamosan azonban a nyomtatott és online médiában korlátok nélkül terjesztik a „kamu” készítményeket. Sokszor nehéz rávenni a betegeket, hogy csak az orvosuk által ajánlott szereket alkalmazzák. Pedig az ellenőrizhetetlen forrásból származó információk helyett biztonságosabb, hogy „kérdezze meg kezelőorvosát, gyógyszerészét”.

Irodalom

1. Coomarasamy A, Taylor R, Khan KS. A systematic review of postgraduate teaching in evidence-based medicine and critical appraisal. *Med Teach.* 2003;25(1):77-81.
2. Brainin M, Barnes M, Baron JC, Gilhus NE, Hughes R, Selmaj K, et al. Guidance for the preparation of neurological management guidelines by EFNS scientific task forces--revised recommendations 2004. *Eur J Neurol.* 2004;11(9):577-81.

3. Mankia K, Siddle HJ, Kerschbaumer A, Alpizar Rodriguez D, Catrina AI, Canete JD, et al. EULAR points to consider for conducting clinical trials and observational studies in individuals at risk of rheumatoid arthritis. *Ann Rheum Dis.* 2021;80(10):1286-98.
4. Fraenkel L, Bathon JM, England BR, St Clair EW, Arayssi T, Carandang K, et al. 2021 American College of Rheumatology Guideline for the Treatment of Rheumatoid Arthritis. *Arthritis Care Res (Hoboken).* 2021;73(7):924-39.
5. Smolen JS, Landewe RBM, Bergstra SA, Kerschbaumer A, Sepriano A, Aletaha D, et al. EULAR recommendations for the management of rheumatoid arthritis with synthetic and biological disease-modifying antirheumatic drugs: 2022 update. *Ann Rheum Dis.* 2023;82(1):3-18.
6. Sivera F, Andres M, Carmona L, Kydd AS, Moi J, Seth R, et al. Multinational evidence-based recommendations for the diagnosis and management of gout: integrating systematic literature review and expert opinion of a broad panel of rheumatologists in the 3e initiative. *Ann Rheum Dis.* 2013.
7. OGYÉI. A megtevesztés gyakran alkalmazott elemei digitális térben. https://ogyegovhu/a_megtevesztes_gyakran_alkalmazott_elemei_digitalis_terben.
8. Mesterséges intelligenciával generált Schwab Richárd-hamisítvány népszerűsít fura csodaszert az interneten. <https://telexhu/techtud/2024/11/18/schwab-richard-deepfake-kamu-video>. 2024.
9. Karikó Katalin nevével visszaélve hirdetnek csalók olyan kapszulákat, amelyekhez semmi köze nincsen. <https://telexhu/belfold/2024/09/08/kariko-katalin-csalas-gyogyhatasu-keszitmeny-kapszula>. 2024.
10. Hamis videó terjed Dr. Merkely Béláról. <https://24hu/tech/2024/12/04/hamis-megteveszto-video-dr-merkely-bela-semmelweis-egyetem/>. 2024.

Bizonyosságok és bizonytalanságok a matematikában

Farkas Csaba

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar,

Matematika-Informatika tanszék

farkascsaba@uni.sapientia.ro

Kivonat: A matematika a köztudatban gyakran a bizonyosság tudományaként jelenik meg: ha egy tételt egyszer szigorúan bebizonyítottunk, az végérvényesen igaz marad. Ugyanakkor a matematikai gondolkodás a bizonytalanság kezelésének is egyik legfontosabb eszköze: valószínűségek, matematikai modellek, előrejelzések, optimális döntések mind a bizonytalan világ formalizálásáról szólnak. A tanulmány azt igyekszik megmutatni, hogyan él együtt a matematikában a logikai bizonyosság és a modellhez kötött bizonytalanság: a Monty Hall problémától és a Bolyai-féle nem euklidészi geometriától a variációszámításon, parciális differenciálegyenleteken és Finsler-geometrián át egészen a Zermelo-navigációs problémáig és a járványmodellezésig.

Bevezetés

Ebben a tanulmányban azt a kérdést járjuk körül, hogy hol jelenik meg a bizonyosság a matematikában, és hol kényszerülünk együtt élni a bizonytalansággal. Ugyanaz a formális eszköztár ír le véges játékokat, görbék optimális alakját, a tér geometriáját vagy éppen egy járvány terjedését, mégis nagyon különböző módon jelenik meg benne a „biztos” és a „bizonytalan”.

Három szintet különítettünk el: a) az axiomatikus szintet, ahol a bizonyosság tisztán logikai: adott axiómák mellett egy állítás vagy igaz, vagy hamis; b) a modellek szintjét, ahol már választanunk kell, milyen egyenletekkel, milyen geometriával írjuk le a valóságot; c) és az adatok szintjét, ahol a mérés, a zaj, a hiányos információ okoz bizonytalanságot.

A tanulmány végig ezen a három szinten mozog. Először egy játékos valószínűségi paradoxonon (a híres Monty Hall probléma) keresztül látjuk, hogyan tud a matematika teljes bizonyosságot adni ott, ahol az intuíció bizonytalan. Ezután a tér geometriájáról alkotott képünk bizonytalanságát vizsgáljuk Bolyai János példáján keresztül. A következő lépésben a variációszámítás és a parciális differenciálegyenletek világába lépünk: itt már funkcionálok, energiák és geometrikusok jelennek meg, közelebb kerülve folytonos modellezéshez. Ezt követi a Finsler-geometria, ahol nemcsak a pont, hanem az irány is szerepet játszik a távolságban, és ahonnan természetesen vezet az út a Zermelo-navigációs problémához. Végül a járványok matematikai modelljein keresztül eljutunk az adatok világáig, ahol a paraméterek és mérések bizonytalanságával kell számolni.

2. Monty Hall probléma: ahol a bizonytalanság csak látszat

A Monty Hall-probléma nevét az 1960-as és 70-es évek amerikai televíziós vetélkedőjéről, a „Let’s Make a Deal”-ről kapta. A műsor házigazdája Monty Hall volt, aki látványos játékok sorával szórakoztatta a közönséget: ajtók, függönyök, dobozok mögé rejtett nyereményekkel, ahol a versenyzőknek választaniuk kellett – némi kockázattal fűszerezve.

A ma klasszikusként ismert, háromajtós változat ennek egy leegyszerűsített matematikai modellje. A játék szabályai a következők: három ajtó van, az egyik mögött autó, a másik kettő mögött kecske. 1. A játékos választ egy ajtót (de még nem nyílik ki). 2. A műsorvezető – aki tudja, hol az autó – a másik kettő közül kinyit egyet, amely mögött mindig kecske van. 3. Ezután felajánlja a játékosnak, hogy maradjon az eredeti választásánál, vagy váltson a másik, még zárt ajtóra. Ekkor a természetes kérdés, hogy érdemes-e ajtót váltani vagy sem?

Első ránézésre sokan azt gondolják, hogy a kinyitott ajtó „kiesett”, két ajtó maradt, ezért az esélyek 50-50-re változtak. A meglepetés ott kezdődik, hogy a valószínűségszámítás szerint a váltás továbbra is előnyös, sőt a nyerés valószínűsége így kétszer akkora.

A probléma igazán nagy vihart akkor kavart, amikor Marilyn vos Savant – akit gyakran a „világ legmagasabb IQ-jú emberének” neveztek – az 1990-es évek elején a Parade magazin „Ask Marilyn” rovatában megválaszolta egy olvasó kérdését. Az olvasó leírta a fenti helyzetet, és megkérdezte: „Valóban érdemes-e váltani?” Vos Savant válasza egyértelmű volt: mindig érdemes váltani, mert így az autó megnyerésének valószínűsége 2/3.

A cikk után levelek ezrei érkeztek, köztük matematikatanárok, statisztikusok, mérnökök, egyetemi oktatók üzenetei. Rengetegen vitatták a választ, sokan kifejezetten magabiztosan állították, hogy „nyilván 50–50 az esély”, és a rovatvezető téved. A vita hónapokig tartott, majd fokozatosan a szimulációk, számítógépes kísérletek és részletes magyarázatok meggyőzték a kételkedőket: a meglepő eredmény valóban helyes.

Nézzük meg formálisan, mi történik. Jelölje A azt az eseményt, hogy a játékos első választása az autós ajtó, és jelölje B azt az eseményt, hogy a műsorvezető kinyit egy kecskés ajtót (a szabályok szerint mindig így tesz). Az első lépésben a játékos véletlenszerűen választ. Ekkor világos, hogy

$$P(A)=1/3, P(A^c)=2/3.$$

Ha a játékos eleve eltalálta az autós ajtót (A), a műsorvezető a két kecskés ajtó közül nyit ki egyet. Ha nem találta el (A^c), akkor az egyetlen kecskés ajtót nyitja, amely nem az autó ajtaja, és nem is a játékos választása. Mindkét esetben biztos, hogy kecskét mutat:

$$P(B \mid A)=P(B \mid A^c)=1.$$

Felhasználva a Bayes tételt:

$$P(A|B) = \frac{P(A)P(B|A)}{P(B)} = \frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{3} + \frac{2}{3}} = \frac{1}{3} \quad \text{És így } P(A^c|B) = \frac{2}{3}$$

Vagyis a zárva maradt másik ajtó mögött az autó valószínűsége 2/3, tehát

$$P(\text{„nyerünk váltással”}) = 2/3, \quad P(\text{„nyerünk, ha maradunk”}) = 1/3.$$

A feladat különlegessége abban rejlik, hogy itt semmi „rejtélyes” nincs: a modell teljesen zárt, minden szabály ismert, nincsenek elbújtatott feltételek. A bizonytalanság pusztán pszichológiai: az emberi intuíció szereti „újraosztani” az esélyeket, és úgy érzi, hogy két ajtó esetén már „egyenlő” a helyzet. A Monty Hall-probléma jó példa arra, hogyan válik szét a pszichológiai bizonytalanság és a matematikai bizonyosság. Minden szabály adott, a következtetés logikailag kényszerítő erejű – mégis hosszú ideig komoly vitákat váltott ki, mert szembe ment az első benyomással.

3. Bolyai, Riemann és a tér bizonytalan geometriája

A középkori és kora újkori gondolkodásban az euklidészi geometria nemcsak egy modell volt a sok közül, hanem a tér leírása. Az „egyenes” és a „háromszög” tulajdonságai ugyanannyira szükségszerűnek tündek, mint az aritmetika alaptételei. Aquinói Szent Tamás a *Summa contra Gentiles*-ben a mindenhatóság paradoxonát így fogalmazza meg: „Tud-e Isten olyan háromszöget alkotni, melynek szögösszege nem 180 fok?” A kérdés mögött az a meggyőződés áll, hogy a „háromszög szögösszege 180°” nem empirikus állítás, hanem logikai szükségszerűség: ha valami háromszög, akkor *nem lehet másképp*. Később Immanuel Kant ezt a gondolatot filozófiailag is megfogalmazza: „Az euklidészi axiómák a tapasztalást szükségszerűen megelőző emberi ismeretek.” Vagyis a tér euklidészi szerkezete szerinte velünk született „szemléleti forma”, nem pedig tapasztalati kérdés. A geometriában itt a bizonyosság abszolútnak tűnik: nemcsak a következtetés, de maga a modell megkérdőjelezhetetlen. Ebbe a – látszólag mozgathatatlan – rendszerbe illeszkedik be a párhuzamossági posztulátum is, amely leegyszerűsítve így szól: „Egy egyenesen kívül eső ponton egy olyan egyenes húzható, amely nem metszi az eredetivel.”

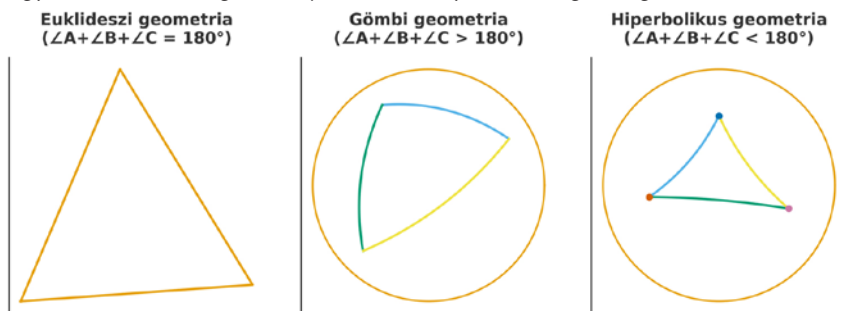
A 19. század elején ez a szilárdnak hitt bizonyosság kezd megrepedni, több matematikus is úgy sejtí, hogy a párhuzamossági axióma igazolható a többi segítségével. Marosvásárhelyen, a reformkori Erdély szellemi közegében dolgozik Bolyai Farkas, aki Eukleidész párhuzamossági posztulátumának egyszerűbb, „természetesebb” levezetésén töri a fejét. Évtizedeken át keresi azt a bizonyítást, amely Kantnak is igazat adna: megmutatná, hogy a világ csak euklidészi lehet, és a párhuzamossági axióma „valójában” a többi axiómából következik.

A kudarcok azonban sokasodnak – nemcsak nála, hanem Európa-szerte. Újra és újra születnek „bizonyítások”, amelyekről közelebbről nézve kiderül, hogy valahol rejtetten visszacsempészik a párhuzamossági axiómát. Egy ponton Farkas így inti fiát, Jánost: ne pazarolja az erejét erre a „veszedelmes kérdésre”.

János azonban nem visszariad, hanem épp ellenkezőleg: más irányt vesz. Nem az a célja, hogy Eukleidész posztulátumát „szelídítse”, hanem az, hogy kipróbálja, mi történik, ha egyszerűen elengedjük, és helyette más axiómát választunk. 1823-ban írja apjának a híres mondatot: „A semmiből egy új, más világot teremtettem.” Az „új világ” kulcsa egyetlen axiómaváltás: **Euklidészi geometria**, azaz egy egyenesen kívül eső ponton pontosan egy olyan egyenes húzható, amely nem metszi az eredetivel. **Hiperbolikus geometria (Bolyai–Lobacsevszkij)**: egy egyenesen kívül eső ponton **több** (valójában végtelen sok) párhuzamos egyenes húzható. A meglepő az, hogy ebből az új axiómából **nem** káosz, hanem egy teljes, belsőleg konzisztens geometria épül fel. A háromszögek ebben a világban másképp viselkednek: $\alpha + \beta + \gamma < \pi$, és a szögdefektus – vagyis $\pi - (\alpha + \beta + \gamma)$ – arányos a háromszög területével:

$$\pi - (\alpha + \beta + \gamma) = k \text{Area}(\Delta),$$

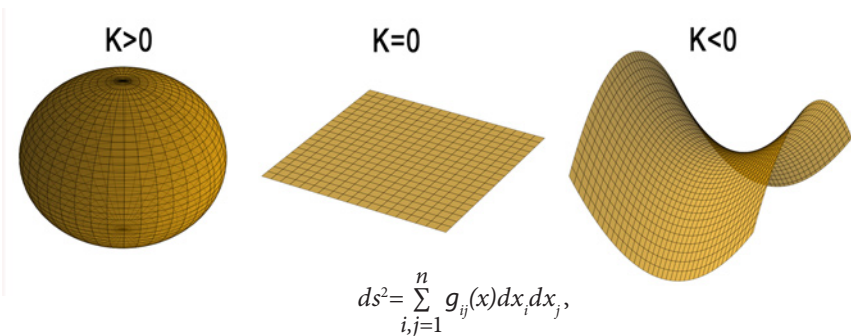
ahol $k > 0$ egy, az állandó negatív görbülethez kapcsolódó konstans. Minél nagyobb a háromszög, annál jobban „hiányzik” a szögösszegeből a 180° .



1. ábra. Háromszögek különböző geometriai modellekben.

A néhány oldalas latin *Appendix* 1832-ben jelenik meg apja fő műve, a *Tentamen* függelékéként. Bolyai János ebben a szövegben nem valamiféle „fantázia-világot” ír le, hanem az „abszolút tér” tudományaként beszél az új geometriáról: arról, hogyan viselkedne a tér, ha a párhuzamosság fogalma más lenne, mint amit megszoktunk.

A következő nagy lépést Bernhard Riemann teszi meg. 1854-es habilitációs előadásában teljesen általános keretbe foglalja mindazt, amit Eukleidész, Gauss és Bolyai csak speciális esetekben láttak. Riemann szerint a geometria alapobjektuma nem „a sík” vagy „a tér”, hanem egy tetszőleges dimenziójú, sima sokaság M , amelyre egy metrikát teszünk:



itt a $g_{ij}(x)$ komponensek minden pontban egy szimmetrikus, pozitív definit mátrixot alkotnak; ez mondja meg, hogyan mérjük a „kis” elmozdulások hosszát. Az euklidészi tér csupán az az eset, amikor $g_{ij} = \delta_{ij}$ („Dirac-függvény”), azaz $ds^2 = dx_1^2 + \dots + dx_n^2$.

Gauss már két dimenzióban megmutatta, hogy a „háromszög-szögösszeg” és a „párhuzamosság” viselkedése teljesen leírható a metrikából: a Gauss-görbület $K(x)$ egy olyan belső mennyiség, amely kizárólag a $g_{ij}(x)$ és deriváltjai segítségével számítható ki, függetlenül attól, hogyan „ül” a felület a környező térben. Riemann lényegében ezt az elvet általánosítja magasabb dimenziókba: a görbületet a metrikus tenzor deriváltjaiból felépülő Riemann-görbületi tenzor méri, és azt mondja meg, mennyire „tér el” a sokaság lokálisan egy euklidészi tértől. Két dimenzióban ez a tenzor lényegében egyetlen skalárra redukálódik – éppen a Gauss-görbületre $K(x)$, amely három alapesetet különít el: $K=0$ (euklidészi), $K>0$ (szferikus) és $K<0$ (hiperbolikus) geometriát.

A 20. század elején Einstein általános relativitáselmélete zárja be a kört: a téridő már nem merev háttér, hanem négydimenziós Riemann-sokaság, amelynek görbülete az anyag és energia eloszlásától függ. A fizikai világ geometriája így empirikus kérdéssé válik.

A geometria története így kettős tanulságot hordoz. A **bizonyosság** oldala az, hogy egy rögzített axiómarendszeren belül a matematika rendíthetetlenül következetes: ha a metrika adott, a görbület, a geodetikák, a háromszögek szögösszege mind „kiszámolható”, nincs alku. A **bizonytalanság** oldala viszont az, hogy maga az axiómarendszer – a metrika, a téralak – választás kérdése: euklidészi, szferikus és hiperbolikus világ egyaránt logikailag legitim modell. A „háromszög szögösszege 180° ” többé nem abszolút igazság, hanem egy konkrét geometria jellemezője.

A Bolyai–Riemann matematikai vonal ezért nem pusztán egy fejezet a matematika történetében, hanem minta arra, hogyan él együtt a szigorú logikai bizonyosság és a modellválasztásból fakadó bizonytalanság.

4. Finsler-geometria: bizonyos törvények, bizonytalan irányok

Ahogy korábban is láttuk a Riemann geometriában a „hossz” mindig kvadrátikus alakból jön és ebből épül fel minden: a görbék hossza, a geodetikuskok, a görbület. Egy pont közelében a „gömb” mindig valamilyen ellipszoid, de a kép alapvetően szimmetrikus: egy nagyon kicsi lépés egy adott irányba és az ellenkező irányba ugyanannyiba „kerül”. A mindennapi tapasztalat azonban egészen mást mond: városban közlekedve nem ugyanannyi idő kelet felé, mint nyugat felé haladni, ha az egyik irányban lejt az út, a másikban emelkedik; erős szélben a repülőgép útideje jelentősen különbözik „széllel” és „széllel szemben”; hegyi terepen felfelé lépni sokkal fárasztóbb, mint lefelé, még ha a megtett távolság ugyanakkora is. Itt az irány nem csak „egy vektor a sok közül”: az egyik irány „könnyebb”, a másik „nehezebb”. Matematikailag olyan hosszfogalomra van szükségünk, amely a ponttól és az iránytól is általános módon függ. Ezt adja a Finsler-geometria. Egy Finsler-metrika nem kvadrátikus, hanem egy

$F:TM \rightarrow [0, +\infty), (x, y) \mapsto F(x, y)$ függvény, ahol $x \in M$ pont, $y \in T_x M$ irányvektor.

Ekkor egy görbe hossza $\ell(\gamma) = \int_0^1 F(\gamma(t), \dot{\gamma}(t)) dt$

Természetesen, ha $F(x, y) = \sqrt{g_x(y, y)}$ akkor visszakapjuk a Riemann-esetet. A Finsler-geometria tehát valódi általánosítás: a Riemann-metrikák benne vannak, de mellette rengeteg olyan metrika is létezik, ahol a hossz erősen irányfüggő, akár aszimmetrikus is.

Zermelo navigációs probléma. Képzeljünk el egy hajóskapitányt, aki a térképre néz. A térkép mögött ott egy „szép” Riemann-geometria: a vízfelületet úgy modellezzük, mintha mindenhol ugyanúgy tudnánk mérni a távolságot, és a legrövidebb út két pont között valamilyen „görbe/egyenes” (geodetikus) lenne. Szélcsendben ez a geodetikus tényleg a leggyorsabb út is. De Zermelo kapitánynak nincs ekkora szerencséje: erős, irányított szél fúj. A hajó motorral a vízhez képest mondjuk „1 egység” sebességgel tud haladni, a szél azonban hozzátesz vagy elvesz ebből az iránytól függően: ha a szél irányába haladunk, a hajó gyorsabban megy, ha széllel szemben, akkor lassabban, ha oldalról fúj a szél, elsodor, és mi csak kormánymozdulatokkal tudunk korrigálni. A kapitány számára a kérdés már nem az, hogy melyik az A és B közötti legrövidebb út, hanem az, hogy melyik a leggyorsabb út. A kettő szélben nem ugyanaz. Zermelo klasszikus eredménye (a mai nyelven megfogalmazva) az, hogy az időminimum-problémát át lehet írni egy Finsler-féle hosszkérdésre. Létezik ugyanis egy olyan függvény

$$F(x, y) = \alpha(x, y) + \beta(x, y)$$

amit Randers-metrikának hívnak, és amely úgy viselkedik, mintha: $\alpha(x, y)$

lenne a „szél nélküli” távolság (a háttér Riemann-geometria), $\beta(x,y)$ pedig egy olyan tag, ami „ráül” az α , és figyelembe veszi a szelet: bizonyos irányokban „levon” (ha segít a szél), máshol „hozzáad” (ha szembe fúj). Ebben a modellben a bizonyosság: ha egyszer a szélmezőt és a háttérgeometriát rögzítettük, a Randers-metrika adott, és az optimális utak matematikailag egyértelműek. A bizonytalanság pedig: a valóságban a szelet csak közelítőleg ismerjük. Ha egy kicsit tévedünk a szél irányában vagy erősségében, könnyen kiderülhet, hogy a „számított” optimális útvonal már nem az, amit a valós tenger valójában kívánna. Az aszimmetria miatt ezek a kis hibák látványosan felerősödhetnek.

Matsumoto metrika. Egy hegymászó túrán van egy ösvény, amely felvezet egy menedékházhoz, majd ugyanazon az útvonalon visszaereszkedhetünk a völgybe. A térkép szerint ez egy szép, szimmetrikus vonal: ugyanaz a hossz oda és vissza. A lábunk szerint viszont nem: felfelé minden lépés kemény munka, lefelé sokkal könnyebben gördülünk. Ha ezt szeretnénk modellként a geometriába tenni, akkor megint gondolkodhatunk „háttér + módosítás” formában: legyen $\alpha(x,y)$ a háttér adó Riemann-távolság (szélcsend, sík világ), $\beta(x,y)$ egy olyan mennyiség, ami a „lejtés irányát” és hatását jelképezi (merre „könnyű” menni). A Matsumoto-metrika egy ilyen helyzetre jellemző Finsler-metrika, nagyjából ilyen formával:

$$F_{Mats}(x, v) = \frac{\alpha(x, v)^2}{\alpha(x, v) - \beta(x, v)}$$

A fenti képlet pontosan leírja, hogy ha lefelé megyünk, vagyis a lépés iránya „egyezik” a lejtés irányával, akkor az $\alpha - \beta$ a nevezőben viszonylag nagy, a tört kicsi: a lépés „olcsó”; ha felfelé megyünk, az $\alpha - \beta$ kicsi, a tört nagy: ugyanaz a fizikai lépés sokkal nagyobb „költséget” kap. Vagyis ugyanaz az ösvény Finsler-szemmel nem ugyanaz utat jelent oda és vissza. A hegymászó számára ez triviális: odaúton lassan küzd felfelé, visszafelé könnyedén lecsorog. A Matsumoto-metrika ezt teszi bele a tér belső geometriájába: a „távolság” A-tól B-ig nagyon más, mint B-től A-ig; az optimális útvonalak (geodetikusok) sokkal inkább követik a „könnyű” irányokat, és kerülnek a „nehéz” irányokat.

A bizonyosság itt is az, hogy ha α és β egyszer adott, akkor minden matematikai következmény fix: a geodetikusok, az egyenletek, a görbület – minden determinisztikus. A bizonytalanság érdekessége az aszimmetriából fakad: a modell paramétereit (meredekség, ellenállás, „lejtés”) nem tudjuk tökéletesen.

Mind a Zermelo navigációs probléma, mind a Matsumoto metrika ugyanazt a gondolatot illusztrálja: a matematika szintjén teljes a bizonyosság: ha megmondjuk, milyen $F(x,v)$ -t (Randers- vagy Matsumoto-metrikát) használunk, a

legrövidebb vagy leggyorsabb utak, a geodetikusok és a hozzájuk tartozó egyenletek precízen meghatározottak; a modellválasztás és paraméterezés szintjén az aszimmetria felerősíti a bizonytalanságot: az $A \rightarrow B$ és $B \rightarrow A$ utak nem egyformák, a kicsi hibák a háttérmező (szél, lejtés) leírásában látványosan más „optimális” megoldásokat eredményezhetnek.

Ha a „legjobb út” kérdését tovább tágítjuk, és már nem egyetlen görbét, hanem folyamatokat vizsgálunk – például hogyan terjed hő, szennyező anyag vagy járvány egy anizotrop, „irányfüggő” közegben –, akkor hasonló jelenségeket látunk parciális differenciálegyenletekben is. A háttér-energia ilyenkor gyakran egy olyan függvény az u -ról (a gradiensről), amely Finsler-jellegű: különbséget tesz a „lefelé” és „felfelé”, a „széllel” és „széllel szemben” irányok között. A következő lépés tehát természetes: a geometriából – ahol útvonalakat minimalizálunk – átvesszük az út a parciális differenciálegyenletek világába, ahol funkcionálokat minimalizálunk, és a bizonyosság–bizonytalanság ugyanaz a kettőssége jelenik meg.

5. Bizonyosságok és bizonytalanságok – nem-standard PDE-k

A korábban leírt fejezetben a Finsler metrikának két változója volt

$$F: TM \rightarrow [0, +\infty), (x, y) \mapsto F(x, y)$$

Az x pont rögzítése után a $v \mapsto F(x, v)$ leképezés egy ú.n. Minkowski normát ad a $T_x M$ érintőtérben. Más szóval, minden pontban külön – általában anizotrop, akár aszimmetrikus normát kapunk az irányok mérésére. A PDE-kben ezzel szemben gyakran egy térben homogén modellt használunk: azt tételezzük fel, hogy a közeg mindenütt ugyanúgy viselkedik, és ugyanazzal a normával mérjük az irányokat. Ez azt jelenti, hogy a helyfüggést „lefagyasztjuk”, és a Finsler-metrika egy globális Minkowski-normára egyszerűsödik:

$$F(x, v) \sim F(v), F: \mathbb{R}^n \rightarrow [0, +\infty)$$

Ez tulajdonképpen egy olyan Finsler sokaság, amelynek görbülete nulla. Ebben a világban a Laplace-operátornak is van természetes általánosítása. Ha F egy sima, pozitívan homogén Minkowski-norma, akkor a Finsler-Laplace operátor

$$\Delta_F u = \operatorname{div}(F(\nabla u) \nabla F(\nabla u))$$

Ezt a geometriai gondolatot most két, látszólag nagyon különböző PDE-modellekben követjük végig.

Talán a Finsler-PDE világ legegyszerűbb, de már nemtriviális példája egy anizotróp, szublineáris elliptikus egyenlet. Legyen

$$\begin{cases} -\Delta_F u = \lambda \vartheta(x) f(u) & \text{az } \Omega\text{-ban,} \\ u = 0 & \text{az } \partial\Omega\text{-n.} \end{cases}$$

ahol $\lambda > 0$ egy paraméter, $\vartheta \in L^\infty(\Omega)$ egy nemnegatív súlyfüggvény, $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ pedig „szublineáris” nemlinearitás abban az értelemben, hogy

$$\frac{f(s)}{s} \rightarrow 0 \text{ ha } s \rightarrow 0, \frac{f(s)}{s} \rightarrow 0 \text{ ha } |s| \rightarrow \infty.$$

Variációs szempontból a természetes energiafunkcionál

$$E_\lambda(u) = \int_\Omega F(\nabla u(x))^2 dx - \lambda \int_\Omega \vartheta(x) F_0(u(x)) dx,$$

ahol

$$F_0(s) = \int_0^s f(t) dt$$

a f primitívje. A Dirichlet-peremfeltétellel ellátott gyenge megoldások pontosan az E_λ kritikus pontjai a megfelelő anizotróp Sobolev-térben. Ezekkel az eszközökkel az alapprobléma viselkedése – nagyon leegyszerűsítve – a következőképpen írható le: létezik egy $\lambda_* > 0$ küszöbparaméter; ha $0 < \lambda < \lambda_*$, akkor az egyetlen gyenge megoldás a triviális $u=0$; ha λ elég nagy, akkor a fenti feladat legalább két, egymástól különböző, nemtriviális, nemnegatív megoldással rendelkezik; ha ráadásul Ω maga szimmetrikus, akkor a feladat megoldása szintén szimmetrikus lesz.

A bizonyosság-bizonytalanság szempontjából ez különösen beszédes. Az operátor Δ_μ és a peremérték-probléma formálisan teljesen determinisztikus: ha F , ϑ , f és λ adott, az egyenlet egyértelműen felírt. A variációs és topológikus módszerek ugyanakkor azt mutatják, hogy bizonyos λ -tartományokban legalább két különböző stacionárius állapot létezik. A matematika tehát több lehetséges „egyensúlyi világot” enged, és a valós rendszer – dinamikától, instabilitástól, kezdeti feltételektől függően – ezek közül választ, miközben a képlet szintjén a szerkezet végig teljesen következetes és „biztos” marad.

Képzeljünk el egy nagyvárost, ahol csomagokat kell eljuttatnunk különböző pontok között. A város úthálózata erősen anizotróp: vannak főutak, körgyűrűk, folyók, „természetes folyosók”, amelyek bizonyos irányokban kifejezetten megkönnyítik a szállítást, más irányokban viszont szűk keresztmetszeteket okoznak. Egy vektor $v \in \mathbb{R}^n$ jelölje a „szállítás irányát és nagyságát”, és legyen

$$F: \mathbb{R}^n \rightarrow [0, +\infty)$$

egy sima, szigorúan konvex Minkowski-norma, amely $F(v)$ értékkel méri a „egy egység áru egy egység idő alatti mozgatásának költségét” abban az irányban. A Finsler-szemléletben F maga megmondja, milyen irányban könnyű, és milyen irányban drága mozogni. A logisztikai rendszer azonban nem egy, hanem két üzemmódban működhet: p-fázis (helyi elosztás): kis mennyiséget helyi fuvarok visznek háztól házig, rugalmas, nincsenek nagy fix költségek, de ha a forgalom nő, a dugók, üresjáratok, szervezési nehézségek miatt a fajlagos költség

meredeken emelkedik; q-fázis (törzshálózat): nagy mennyiséget egy kiépített gerinchálózat visz (tranzit raktár, autópálya, vasút, légi szállítás). Itt jelentős a belépési költség (infrastruktúra, szerződések), viszont ha egyszer az áramlás eléri a kritikus szintet, a fajlagos költség lassabban nő.

Matematikailag ezt úgy foglалhatjuk össze, hogy a lokális szállítási költség két hatványból és egy térbeli súlyból épül fel:

$$\varphi(x, z) = z^p + \mu(x)z^q, z \geq 0, 1 < p < q,$$

ahol $z \approx F(\xi)$ egy „egységnyi” szállítási ráta adott irányban, $\mu(x) \geq 0$ pedig azt méri, hogy az x környezetében mennyire hozzáférhető a törzshálózat (közel van-e autópálya, regionális hub stb.). Kis z -nél a z^p -tag dominál (helyi fuvarrendszer), nagy z -nél a $\mu(x)z^q$ (törzshálózat) veszi át a szerepet.

A folytonos modellben egy állapotfüggvényt tekintünk, $u: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$, amely például egy „logisztikai potenciált” írhat le (minél nagyobb u , annál inkább „tele” van a rendszer az x környékén). A gradiens $\nabla u(x)$ az áruáramlás irányát és erősségét méri, és $F(\nabla u)$ adja az adott pontban és irányban a fajlagos költséget. A teljes energiafüggvény így

$$E_F(u) = \int_{\Omega} F(\nabla u(x))^p + \mu(x)F(\nabla u(x))^q dx,$$

ahol

$\Omega \subset \mathbb{R}^n$ a vizsgált tartomány (a „város”), $\mu(x) \geq 0$ pedig a gerinchálózat „térképe”. Az energia kritikus pontjaihoz tartozó Euler-Lagrange-egyenlet a Finsler double phase operátort tartalmazza:

$$L_{p,q}^{\mu}(u) := -\operatorname{div}(F(\nabla u)^{p-1} \nabla_{\xi} F(\nabla u) + \mu(x)F(\nabla u)^{q-1} \nabla_{\xi} F(\nabla u)).$$

Egy tipikus Dirichlet-probléma:

$$\begin{cases} L_{p,q}^{\mu}(u) = f(x, u) & \text{az } \Omega\text{-ban,} \\ u = 0 & \text{a } \partial\Omega\text{-n,} \end{cases}$$

ahol $f(x, u)$ a külső terhelést (forrásokat, keresletet, reakciót) írja le.

A Finsler double phase operátor különösen izgalmas, ha a jobb oldalon kritikus és szinguláris nemlinearitások jelennek meg. Egy jellegzetes példa:

$$f(x, u) = \lambda u^{p^*-1} + cu^{\gamma-1} + g(u)$$

ahol $1 < p < q < N$, $p^* = Np/(N-p)$, $0 < \gamma < 1$ és g egy szubkritikus növekedésű nemlinearitás. A $\lambda u^{(p^*-1)}$ tag a Sobolev-beágyazás határán áll (kritikus növekedés), az $u^{(\gamma-1)}$ szinguláris $u \rightarrow 0$ közelében, a $g(u)$ pedig a köztes tartományban finomítja a dinamikát. A hozzá tartozó energafüggvény a természetes Finsler double phase térben már nem C^1 , ezért a klasszikus módszerek csak módosítva alkalmazhatók. Ennek ellenére a lényeg röviden megfogalmazható: megfelelő feltételek mellett létezik λ^* úgy, hogy minden $0 < \lambda < \lambda^*$ esetén a fenti Dirichlet-problémának van

legalább egy pozitív gyenge megoldása. Vagyis a Finsler double phase logisztikai modell (irányfüggő költségekkel és két üzemmóddal) nemcsak formálisan értelmes, hanem bizonyos paramétertartományban garantáltan rendelkezik „egyensúlyi állapottal” is. A logika szintjén tehát teljes a bizonyosság: adott $F, \mu(x), p, q$ és nemlinearitás mellett pontosan értjük, hogyan néz ki az operátor és a hozzá tartozó PDE, és létezési tétel rögzíti, hogy van megoldás. A bizonytalanság nem az egyenlet belső szerkezetében, hanem a modellválasztásban jelenik meg: abban, hogy a valós város, hálózat vagy anyag mely F -et, milyen $\mu(x)$ -et és a PDE által megengedett sokféle stacionárius állapot közül melyiket „választja” a gyakorlatban.

6. Járványterjedés: adatok bizonytalansága

Kiindulásként vegyük a klasszikus SIR-modellt, amely egy homogén populációra három rekeszt különít el: fogékonyak (S), fertőzöttek (I), gyógyultak (R). A legegyszerűbb, időben folytonos rendszer:

$$\begin{aligned}\dot{S}(t) &= -\beta S(t)I(t), \\ \dot{I}(t) &= \beta S(t)I(t) - \gamma I(t), \\ \dot{R}(t) &= \gamma I(t),\end{aligned}$$

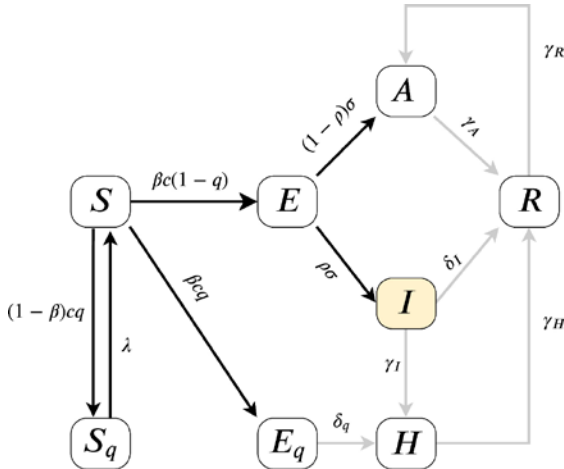
ahol $\beta > 0$ az átadás intenzitása, $\gamma > 0$ a gyógyulási (vagy eltávozási) ráta. Ebből a rendszerből tisztán logikai úton levezethető az alap reprodukciós szám: $R_0 = \beta/\gamma$ amely azt fejezi ki, hány új fertőzést okoz átlagosan egyetlen fertőzött egy teljesen fogékony populációban. Ha $R_0 > 1$, a fertőzés terjed, ha $R_0 < 1$, hosszú távon kihuny.

A Covid-19 járvány modellezése a valóságban jóval bonyolultabb feladat, ugyanis különbség van a tünetmentes fertőzöttek (I), a tünetmentes, de fertőző személye (A), a kórházban kezelték (H), a karanténban levők (pl. S_q, E_q) között és mindezekre külön dinamikát kell felírni. Tehát egy többrekeszes SEIR modellt kell használni, amelyben a biológiai folyamatokat (lappangási idő, gyógyulás, kórházi irányítás) és társadalmi reakciókat (kontaktuscsoökkentés, karantén, viselkedésváltozás) külön paraméterek írják le. A modell gerince továbbra is egy determinisztikus differenciálegyenlet-rendszer, de több kulcsparaméter már nem konstans, hanem időfüggő függvény: a kontaktusrátát $c(t)$ egy csökkenő függvény írja le, amely a kezdeti c_0 értékről tart egy minimális c_a szint felé: a fokozatos lezárások, távolságtartás, maszkviselés hatását modellezi; a karanténba kerülő, exponált személyek arányát $q(t)$ egy növekvő függvény adja meg, q_0 -tól q_1 felé tartva – ez írja le, hogyan erősödik az izoláció és kontaktusátvitel; az átadási valószínűség $\beta(t)$ pedig egyszerre függ az időjárástól, a kormányzati intézkedésektől és az emberi viselkedéstől. A modellben $\beta(t)$ -t nagyvonalakban így írjuk:

$$\beta(t) = (1 - a_\beta)\beta_0(1 + \xi AH(t))\Phi(I(t), A(t), S(t), R(t)),$$

ahol β_0 egy alap-átadási ráta, a_β a kormányzati beavatkozások (lezárások, iskolabezárás, stb.) hatását sűríti egy paraméterbe, $AH(t)$ az abszolút páratartalom (Clausius-Clapeyron típusú formulával számolva a napi hőmérsékletből és relatív páratartalomból), $\Phi(\cdot)$ pedig az emberi viselkedés visszacsatolását modellezi: ha sok a fertőzött, az emberek óvatosabbá válnak, csökken a hatékony kontaktszám. Ekkor a modell a következőképpen írható le:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= w(S, I, A) + \lambda S_q, \\ \frac{dE}{dt} &= f(S, I, A) - \sigma E, \\ \frac{dI}{dt} &= \varrho \sigma E - (\delta_I + \alpha + \gamma_I)I, \\ \frac{dA}{dt} &= (1 - \varrho)\sigma E - \gamma_A A + \gamma_R R, \\ \frac{dS_q}{dt} &= g(S, I, A) - \lambda S_q, \\ \frac{dE_q}{dt} &= h(S, I, A) - \delta_q E_q, \\ \frac{dH}{dt} &= \delta_I I + \delta_q E_q - (\alpha + \gamma_H)H, \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma_I I + \gamma_A A + \gamma_H H - \gamma_R R.\end{aligned}$$

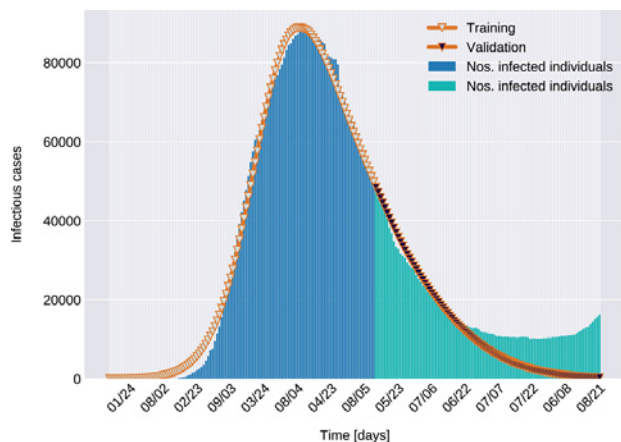


Matematikailag ezek a függvények teljesen jól definiáltak, a rendszer belső logikája ismét „kökeményen” determinisztikus. A bizonytalanság azonban azonnal felbukkan, amint megkérdezzük: mekkora valójában $\beta_0, a_{\beta}, \xi, c_0, c_a, q_0, q_1, \dots$?

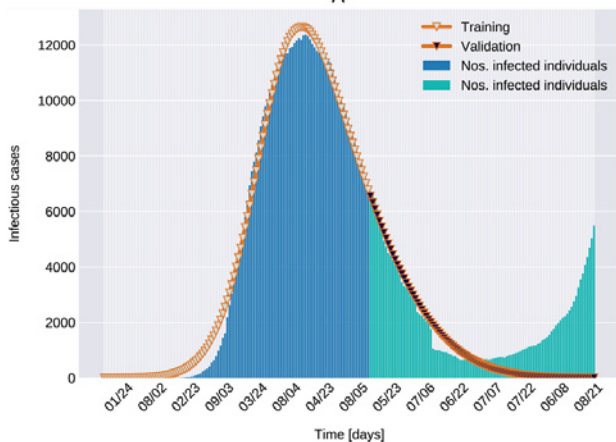
Mint minden betegség esetén a következő lépés a napi reprodukciós szám $R(t)$ bevezetése. A klasszikus R_0 azt mondja meg, hány másodlagos fertőzést okoz átlagosan egy fertőzött egy teljesen fogékony populációban. Itt ennél finomabb mennyiséget definiálunk: $R(t)$ napról napra méri, hogy az éppen aktuális paraméterek mellett egy fertőzött hány új fertőzést indít el. A bizonytalanság viszont itt kétszeresen is megjelenik: a paraméterek maguk is becsült mennyiségek, a meteorológiai és epidemiológiai adatsorok is zajosak, hiányosak, módszerfüggőek.

A matematikai definíció maga biztos; $R(t)$ konkrét értéke azonban becslés marad, konfidenciaintervallumokkal, érzékenységvizsgálattal körülírva.

A fent említett paramétereket egy paraméterbecslési módszerrel lehet közelíteni. Paraméterbecslést egy nagy-dimenziós optimalizációs problémaként kezeli. A modell kb. 25 szabad paramétert tartalmaz; ezek olyan módon jelennek meg, hogy a szokásos gradiens-alapú módszerek (Gauss-Newton, Nelder-Mead, Truncated Newton) könnyen beragadnak rossz lokális minimumokba. Éppen ezért a becsléseket egy Iterált Particle Swarm Optimization (IPSO) eljárással végezhetjük el. Ennek a lényege, hogy a részecskék a paraméterterben mozognak, miközben az a cél, hogy minimalizálják a modell által jósolt és a valós adatok (fertőzésszám-idősorok) közötti eltérést, módszer nem az egész paraméterteret járja be, hanem iteratíván mindig az addig talált legjobb megoldás környezetét vizsgálja egyre finomabban. Itt érdekes módon a bizonyosság és bizonytalanság szerepet cserél: a legegyszerűbb matematikai objektum egy hibafüggvény, amely a modell és az adatok különbségét méri; a paraméterter viszont óriási és bonyolult, a lokális optimum eloszlása maga is egyfajta bizonytalanság: nem tudjuk előre, hol vannak a jó megoldások. Az IPSO algoritmus ebben a bonyolult térben próbál szisztematikusan rendet tenni. Az illesztett modell egyik tanulsága, hogy a hőmérséklet és a páratartalom hatása a COVID-19 terjedésére kimutatható, de nem domináns. Az abszolút páratartalmat beépítő $\beta(t)$ -függvény növeli a modell illeszkedését, de a becsült ξ értékek (Észak- és Dél-Olaszországban) jóval kisebbek, mint influenzánál: az éghajlati tényezők inkább finom korrekciót jelentenek, nem döntő mozgatórugót. Sokkal erősebbnek bizonyul a kontaktusrátát $c(t)$ leíró függvény hatása: az adatok azt mutatják, hogy a szigorú lezárások, mozgási korlátozások hatására a tényleges kontaktusszám a kezdeti érték töredékére csökkent, és ezzel a napi reprodukciós szám $R(t)$ tartósan 1 alá szorult.



A



B

Ezzel visszazárul a körkép a tanulmány mottójához: a matematika belül biztos képleteket ad – egy bonyolult SEIR-rendszer, időfüggő paraméterekkel, egy jól definiált $R(t)$ -vel és egy precíz optimizációs eljárással. A bizonytalanság kívül van: az adatok minőségében, a paraméterek becslésében, a jövőbeli viselkedés előrejelzésében, sőt még abban is, hogyan reagál a társadalom a járványra. Ez az aszimmetria nagyon hasonló ahhoz, amit a Finsler- és double phase problémáknál láttunk: ott a Minkowski-norma F és a súlyfüggvény $\mu(x)$ megválasztása volt a „modellbizonytalanság”, itt a paraméterpályák és adatsorok okozzák ugyanezt. A matematika mindkét esetben ugyanazt a szolgálatot teszi: pontosan elválasztja, hol uralkodik a logikai bizonyosság, és hol kell megtanulnunk együtt élni a szükségszerű bizonytalansággal.

Irodalom

- Bao, D., Chern, S.-S., Shen, Z. (2000): An Introduction to Riemann–Finsler Geometry. *Graduate Texts in Mathematics* 200, Springer.
- Bao, D., Robles, C., Shen, Z. (2004): Zermelo navigation on Riemannian manifolds. *Journal of Differential Geometry*, 66, 377–435.
- Cianchi, A., Salani, P. (2009): Overdetermined anisotropic elliptic problems. *Mathematische Annalen*, 345, 859–881.
- Colombo, M., Mingione, G. (2015): Bounded minimisers of double phase variational integrals. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, 218, 219–273.
- Farkas, Cs., Fodor, J., Kristály, A. (2015): Anisotropic elliptic problems involving sublinear terms. In: 2015 IEEE 10th Jubilee International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), Timișoara, 141–146.
- Farkas, Cs., Winkert, P. (2021): An existence result for singular Finsler double phase problems. *Journal of Differential Equations*, 286, 455–473.
- Farkas, Cs., Iclănzán, D., Olteán-Péter, B., Vekov, G. (2021): Estimation of parameters for a humidity-dependent compartmental model of the COVID-19 outbreak. *PeerJ*, 9, e10790.
- Farkas, Cs., Fiscella, A., Winkert, P. (2022): On a class of critical double phase problems. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 515(2), 126420.
- Farkas, Cs., Fiscella, A., Ho, K., Winkert, P. (2025): Critical double phase problems involving sandwich-type nonlinearities. *Discrete and Continuous Dynamical Systems* (online first), doi:10.3934/dcds.2025144.
- Matsumoto, M. (1986): Foundations of Finsler Geometry and Special Finsler Spaces. Kaiseisha Press, Otsu.
- Murray, J. D. (2002): Mathematical Biology I: An Introduction. 3rd ed., Springer.
- Selvin, S. (1975): On the Monty Hall problem. *The American Statistician*, 29(3), 134.

Jönnék! De mik, hol és mikor?

Az idegenhonos inváziós fajok előrejelzésének lehetőségei és korlátai

Demeter András

független kutató, Törökbálint

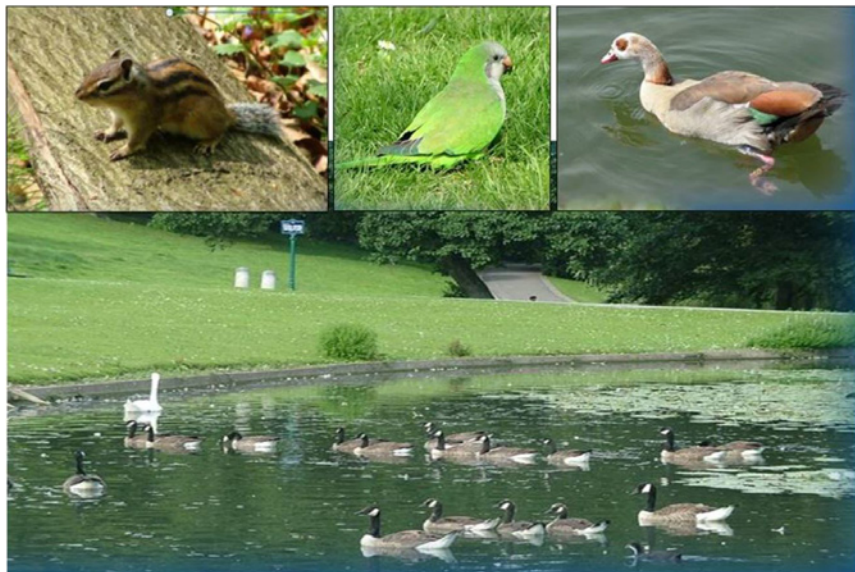
deman1170@yahoo.com

Az emberi tevékenységek következtében világszerte soha nem látott mértékben jelennek meg természetes elterjedésükön kívüli, gyakran attól távoli területeken nem őshonos, a szaknyelvben (és jogszabályban) elfogadott kifejezéssel, idegenhonos növény- és állatfajok. Ezt a folyamatot az éghajlatváltozás csak felerősítheti. Inváziós fajoknak az idegenhonos, természetes elterjedési területükön kívül előforduló, ott megtelepedni képes és térhódításukkal a természetes életközösségeket veszélyeztető fajokat nevezzük. Szinonimái: inváziós faj, jövevényfaj, adventív faj, behurcolt faj, özönfaj; inváziósan terjedő, nem őshonos faj.

Terjedelmi korlátok miatt jelen dolgozatban nincs lehetőség tágabb evolúciós perspektívába helyezni a biológiai inváziók kérdéskörét. Mindig is voltak természetes vándorlások, véletlenszerű idegen fajok érkezése, nagy kihalások – de most ennek a volumene és tempója olyan, hogy az élővilág nem tud megbirkózni vele.

Bár idegenhonos fajokkal sajnos a megbolygatott természetes ökoszisztémákban is találkozhatunk, jelenlétük nagyon szembetűnő lehet városi környezetben, amire példának az 1. ábrán a belga főváros, Brüsszel parkjaiban megfigyelhető fajokról készült felvételeket mutatok be. A három faj inváziója alapvetően a díszmadarak tartása miatt alakult ki, onnan szöktek el a madarak vagy engedték őket szándékosan szabadon (a kanadai lúd került kis részben emberi közvetítés nélkül Európába).

Néhány, a hazai sajtóhírekből a nagyközönség számára is közzismert példa az állatok közül a néhol tömegesen megjelenő, veteményesekben és gyümölcsösökben egyaránt komoly kárt tevő ázsiai márványpoloska (*Halyomorpha halys*), úgyszintén a zöldségesben és a virágos ágyásokban pusztító spanyol meztelencsiga (*Arion vulgaris*) és újonnan megjelenő trópusi betegségeket potenciálisan terjesztő ázsiai tigrisszúnyog (*Aedes albopictus*). A növények közül úgyszintén sokat lehetett pár éve olvasni Magyarország egyik legmegosztóbb hungarikumáról, a gazdaságilag értékes és sokoldalúan felhasználható, de inváziós fajként jelentős természetvédelmi problémákat okozó fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) és a pollenjére érzékeny emberek számára komoly allergiás panaszokat okozó ürömlevelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*) (mindkettő Észak-Amerikából származik).



1. ábra. Brüsszeli parkokban az őshonos állatfajok mellett találkozhatunk barátpapagájokkal (*Myiopsitta monachus*), nilusi ludakkal (*Alopochen aegyptiaca*) és szibériai csíkmókusokkal (*Tamias sibiricus*). Az utóbbi kettő szerepel az Európai Unió számára veszélyt jelentő idegenhonos inváziós fajok jegyzékében (a szerző felvételei)

Helyzetkép

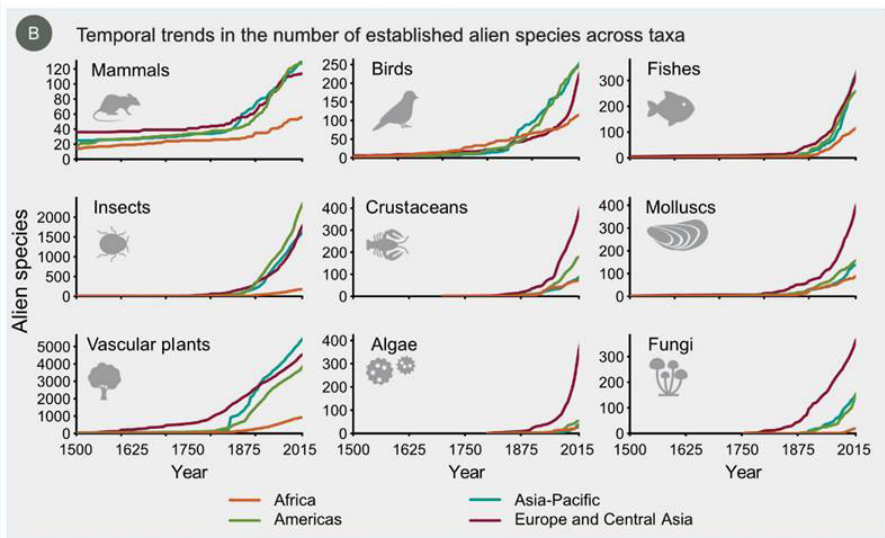
A biológiai sokféleség és az ökoszisztéma-szolgáltatások értékelésével foglalkozó tudományos és szakmapolitikai kormányközi platform (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES) 2023 őszén publikált egy közel ezeroldalas, angol nyelvű tematikus értékelő dokumentumot az idegenhonos inváziós fajok hatásairól és az ellenük való küzdelem jelenlegi helyzetéről (IPBES, 2023a). A hatalmas munka 47 országból származó 86 szakértő és 200 közreműködő szerző által mintegy 13 000 dokumentum alapján készült áttekintés. A döntéshozók számára készült rövidített összefoglaló magyarul még tömörebb formában is elérhető (2023b) és legfontosabb üzenetei a következők.

Az idegenhonos inváziós fajok komoly veszélyt jelentenek a természetre, a természetnek az emberhez és a jó életminőséghez való hozzájárulására; az idegenhonos inváziós fajok száma és hatása világszerte gyorsan növekszik, és az előrejelzések szerint a jövőben is növekedni fog; az idegenhonos inváziós fajok jelentette veszélyek a Föld minden régiójában jelentősen növekednek, és a betelepítések jelenlegi példátlanul magas aránya az előrejelzések szerint a jövőben még magasabb lesz. Bár számos emberi tevékenység (pl. kereskedelem, közlekedés, turizmus) segíti elő az idegenhonos inváziós fajok szállítását, behurcolását, megtelepedését

és terjedését, ezek megjelenése/terjedése és negatív hatásaik hatékony kezeléssel megelőzhetők és mérsékelhetők. Elmondható, hogy integrált kormányzati megközelítéssel a biológiai inváziók kezelése terén jelentős előrelépés érhető el.

A jelentés szerint az idegenhonos inváziós fajok kedvezőtlen hatása a biológiai sokféleség hanyatlása öt fő hajtóerőjének az egyike. Sokan közülük az emberre és a gazdaságra nézve is károsak. Évente kb. 200 új idegenhonos faj jelenik meg és összesen már mintegy 37 ezerre teszik az eddig ismert megtelepedett idegenhonos fajok számát. Ezekből több mint 3500 faj esetében bizonyíték van arra, hogy invázióssá váltak és kedvezőtlen vagy egyes esetekben visszafordíthatatlan hatásokat gyakorolnak a biológiai sokféleségre, az ökoszisztémákra, de a gazdaságot, az élelmiszerbiztonságot, a vízbiztonságot és az emberi egészséget is súlyosan veszélyeztetik.

A megtelepedett idegenhonos inváziós fajok számának időbeni alakulása különböző élőlénycsoportokra és földrajzi régiókra bontva azt mutatja, hogy a veszély minden régióban és valamennyi rendszertani csoportban folyamatosan nő (2. ábra). Ezen fajok 37%-a 1970 óta jelent meg. Évszázadok óta nő a számuk és a jövőben is további emelkedés várható. Sok emberi tevékenység elősegíti az idegenhonos inváziós fajok szállítását, betelepítését és megtelepedését. Ha nincs változás a hozzáállásunkban és a probléma kezelésében, 2050-re az inváziós fajok száma világszerte egyharmaddal lesz nagyobb, mint ami 2005-ben volt észlelt.



2. ábra. Megtelepedett idegenhonos inváziós fajok számának időbeni alakulása különböző élőlénycsoportokra (emlősök; madarak; halak; rovarok; rákok; puhatestűek; edényes növények; algák; gombák) és földrajzi régiókra (Afrika, Amerika, Ázsia - Csendes Óceán, Európa és Közép-Ázsia) bontva (forrás: IPBES, 2023).

Jogi szabályozás

Az ENSZ 1992-ben Rio de Janeiro-ban elfogadott Biológiai Sokféleség Egyezményének (a magyar jogrendben az 1995. évi LXXXI. törvénynek) 8. cikke rendelkezik az idegenhonos inváziós fajok elleni fellépésről („(h) az ökológiai rendszereket, élőhelyeket vagy fajokat veszélyeztető idegen fajok betelepítését megelőzi vagy ellenőrizi, illetőleg megsemmisíti azokat;”). A részes felek 6. konferenciáján (Hága, 2002) elfogadott VI/23 számú határozata pedig a küzdelem irányadó elveit fektette le (Decision VI/23). Alaptétele a hierarchikus megközelítés, amely szerint a **megelőzés** mindig hatékonyabb, mint a már megjelent vagy megtelepedett fajok kiirtása vagy legalább ellenőrzés alá vonása. Ehhez korai észlelési rendszerekre és gyors beavatkozásra van szükség.

A fenti irányadó elvek európai szintű megvalósításának adta meg az alapját a Berni Egyezmény keretében elfogadott **Inváziós Fajok Európai Stratégiája** (**magyarul is elérhető:** Genovesi és Shine, 2007), amely azután európai uniós szintű jogi szabályzáshoz vezetett, 2015. január 1-től lépett hatályba az Európai Parlament és a Tanács 1143/2014/EU számú (2014. október 22.), *az idegenhonos inváziós fajok betelepítésének vagy behurcolásának és terjedésének megelőzéséről és kezeléséről* szóló rendelete.

A rendelethez kapcsolódó végrehajtási rendelet tartalmazza az Európai Unió számára veszélyt jelentő idegenhonos inváziós fajok jegyzékét, amelyekre vonatkozóan a tagállamoknak szigorú intézkedéseket kell hozni és alkalmazni. A legutóbb frissített jegyzék 48 növény- és 66 állatfajt tartalmaz (a Bizottság (EU) 2025/1422 végrehajtási rendelete).

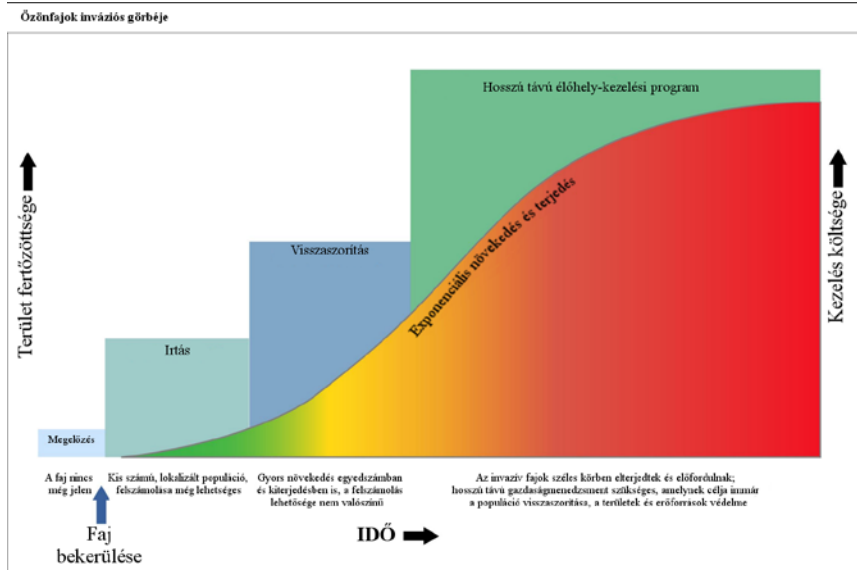
Az 1143/2014/EU rendelet végrehajtásában kiemelt szerepet kap a 16.-18. cikkekben megfogalmazott korai észlelés és gyors kiirtásra irányuló intézkedések bejelentésének kötelezettsége. Ennek eszköze az EASIN – European Alien Species Information Network (<https://easin.jrc.ec.europa.eu/easin>) részeként működtetett Notification System – NOTSYS rendszer (<https://easin.jrc.ec.europa.eu/notsys>).

A korai észlelések és előrejelzések tudományos háttere

Az invázióbiológia (vagy inváziótudomány) az elmúlt közel hetven év alatt egy önálló tudományággá fejlődött, könyvtárakat megtöltő szakirodalommal (pl. az európai projekt DAISIE, 2009) és csak ennek a témának szentelt új szakfolyóiratokkal (pl. Neobiota, Invasion Biology, Management of Biological Invasions). Jelentős szerepe van az 1993-ban létrehozott és napjainkban is nagyon aktív szakmai közösségnek, az IUCN Species Survival Commission Invasive Species Specialist Group-nak (Pagad és mtsai, 2015).

Évtizedek óta jelentős kutatások folynak hazai egyetemi tanszékeken és kutatóintézetekben, amelyek nagyszámú kiváló tudományos publikációt eredményeztek. Az összefoglaló munkák közül csak néhányat említek: növények (Botta-Dukát és Mihály, 2006; Csiszár, 2012), állatok (Haraszthy, 2022); rovarinváziók (Kontschán és Kiss, 2024); a Magyar Tudományban megjelent, az MTA 187. Közgyűléséhez kapcsolódó egész napos tudományos ülés előadásait tartalmazó sokszerzős cikkgyűjtemény a Magyarországra behurcolt és invázív állatfajokról (Báldi és mtsai 2017, Papp, 2017, Varga, 2017). A jogszabályok végrehajtását segítő tudományos munkák és gyakorlati útmutatók tárháza az állami természetvédelem által működtetett idegenhonos inváziós fajok tudásbázisa (www.invaziosfajok.hu).

Az idegenhonos inváziós fajok elterjedésének szakaszait ún. inváziós görbe írja le (megelőzés, irtás, visszaszorítás, hosszútávú élőhely-kezelés) (3. ábra).



Sources: National Invasive Species Council, U.S. Department of Agriculture; National Park Service; U.S. Fish and Wildlife Service; Rodgers, L. South Florida Water Management District; Department of Primary Industries, State of Victoria, Australia; and GAO. | GAO-16-49

3. ábra. Az inváziós görbe különböző szakaszai. Az elterjedés mértékének és a kezelés költségeinek alakulása az idő függvényében (forrás: az Amerikai Egyesült Államok kormányának tanulmánya, 2015. https://hu.wikipedia.org/wiki/Inváziós_faj)

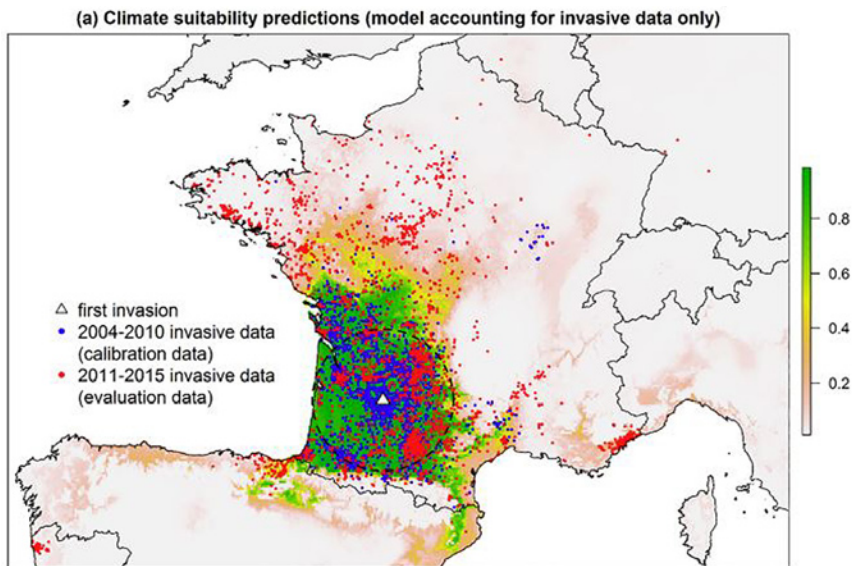
Nem lebecsülve az invázió többi szakaszában tapasztalható nehézségeket, a mai napig a legnagyobb kihívást az idegenhonos inváziós fajok megjelenésének **előrejelzése** jelenti (Pyšek és mtsai, 2020)! Heves szakmai vita alakult ki, hogy az eset-specifikus, rendkívül összetett és sokféle inváziós jelenség egyáltalán lehetővé teszi-e az általánosítást (Elliott-Graves, 2016). Az előrejelzések körüli

nehézségek miatt egyes szélsőséges vélemények megkérdőjelezzik az invázióbiológia tudományos értékét (a *rocket science*-t hiányolják), de a kutatók többsége elveti ezt a véleményt (Blondel és mtsai, 2014).

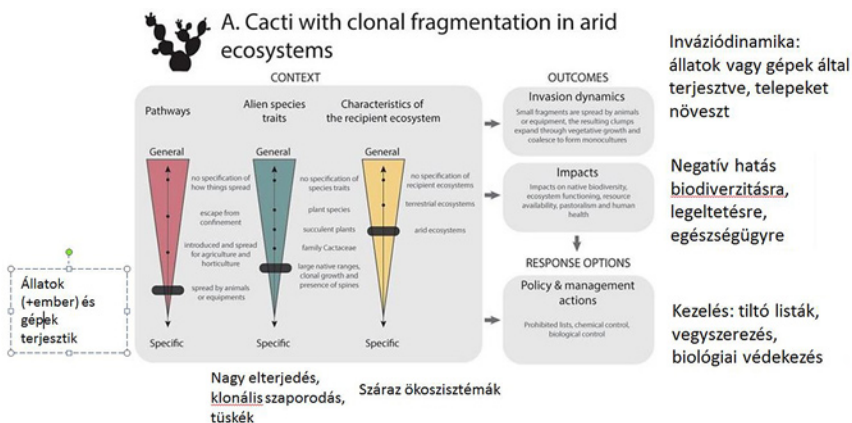
Többféle elméleti megközelítést alkalmazva történtek kísérletek, hogy különböző élőlénycsoportra vonatkozó inváziós előrejelzéseket készítsenek. A legnagyobb kockázatnak kitett területek azonosítása a potenciálisan inváziós fajok elterjedési területeinek modellezése segítségével az egyik legkorábban alkalmazott és több élőlénycsoport esetében (legalább részleges) sikert hozó kezdeményezés. Az egyik példa erre az európai uniós jegyzékben is szereplő, az európai mézelő méhekre komoly veszélyt jelentő ázsiai lódarázs (*Vespa velutina nigrithorax*) európai terjedésének előrejelzése (Barbet-Massin és mtsai, 2018). 2004-es európai megjelenése óta terjedőben van Délnyugat-Európában, a szerzők szerint főként klimatikus tényezők befolyásolják (4. ábra a köv. oldalon). Az EASIN a 2016-2023 közötti időszakban 19 tagállam által bejelentett 39 fajra vonatkozó, közel 200 korai észlelést tartalmaz (bár még nagyon hiányosak a jelentések). Az ázsiai lódarázs viszont messze a leggyakrabban jelzett faj, köztük Magyarország is jelentette az első hazai előfordulását és gyors kiirtását 2023-ban (Dr. Nagy Gergő, szem. közl.). A gyors kiirtás az érintett méhészeti szakma azonnali és hatékony intézkedésével valósulhatott meg. Egy befogott lódarázs példányra rádiótelemetriás jeladót szerelve találták meg a fészket egy magas akácán és sikerült azt a benne lévő kolóniával együtt felszámolni (Magyar Mezőgazdaság, 2023). (A faj 2025-ben Dániában is megjelent (Dr. Nagy Gergő, szem. közl.).

Egy másik javasolt módszertan az életmenet, azaz a reprodukciót és a túlélést megszabó kényszerfeltételek összessége és az azokra adott válaszok jellegeinek (komponenseinek) (pl. a méret, a növekedés és fejlődés, a reprodukció) elemzése és ez alapján „profil” készítés. Ezt több növény és állatcsoportra is elvégezték, sikeressége nagyban függött attól, hogy mennyire teljes adatbázisok álltak rendelkezésre. Egy jó példa hangyafajok inváziós előrejelzésére Fournier & mtsai (2019) globális elemzése, amelyben 997 hangyafajból 18-at azonosítottak potenciális jövőbeni inváziós fajnak.

Az inváziós szindróma elnevezésű szisztematikus megközelítés három paraméter, a terjedési útvonalak, inváziós faji jellegek és az inváziót befogadó ökoszisztémák jellegének olyan kombinációja, amely előre jelezhető dinamikát és hatásokat eredményez. Novoa és mtsai (2020) a módszert több növény- és állatcsoportra alkalmazta (klonálisan szaporodó, száraz ökoszisztémákban élő kaktuszok; ballasztvíz közvetítésével kikötőkben megjelenő parány vízi élőlények; nagytestű, másodlagos közvetítéssel terjedő valódi békafélék (*Ranidae*); halevő édesvízi halak összefüggésben lévő víztestekben; magashegyvidéki területek növényi inváziója; magas növésű fűvek; fajokon táplálkozó rovarok). Ezek közül a kaktuszok példáját választottam ki, amely az 5. ábrán látható.



4. ábra. Az ázsiai lódarázs (*Vespa velutina nigrithorax*) 2004-es európai megjelenése óta terjedőben van Délnyugat-Európában. A modellezéssel készült klíma-alkalmassági grádiens (0-1) térképet a 2004-2010 (kék pontok) és a 2011-2015 (piros pontok) közötti megfigyelésekkel validálták (forrás: Barbet-Massin és mtsai, 2018; <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



5. ábra. Egy példa az inváziós szindróma koncepció alkalmazására: száraz élőhelyen élő kakusok (forrás: Novoa és mtsai (202), kiegészítve magyar nyelvű feliratokkal; <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

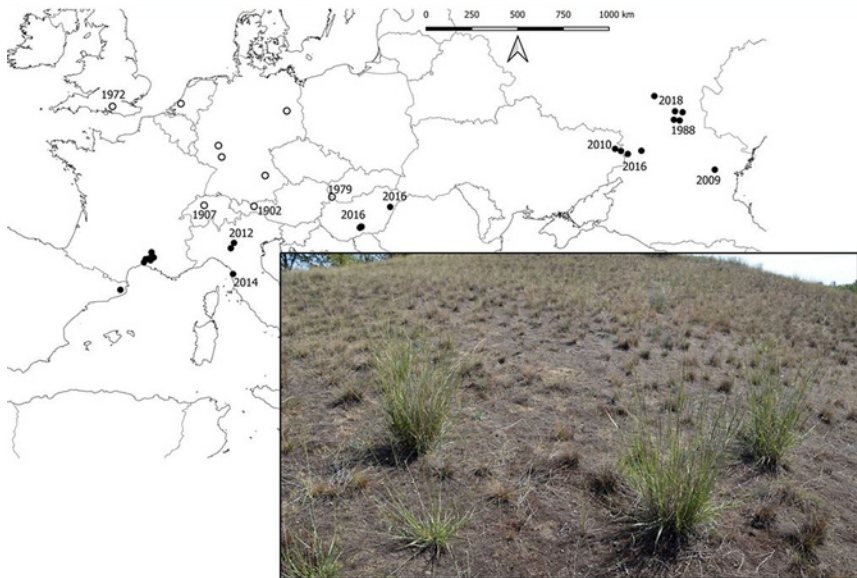
Különösen érdekesek a kaktuszok aktuális hazai relevanciájuk miatt: már több helyen, de főként a Duna-Tisza közén megjelent több kaktuszfaj is komoly gondokat okoz, hazai természetes élőhelyeken nemkívánatos növényfajok, amelyek élőhelyfoglalásukkal kiszorítják az őshonos növényeket. Gyakran kertből vagy temetőből kivadulva jutnak ki a környező gyepekre, vagy zöldhulladékként kerülnek a területre, esetleg szándékosan ülteti ki valaki feleslegessé vált növényeit. A hajtásdarabok könnyen legyökeresednek, de magról is terjedhet (6. ábra).



6. ábra. Gyepről eltávolított fügekaktusz (*Opuntia humifusa*) Tazláron (fotó: Czitor Bea, forrás: <https://www.knp.hu/hu/hirek/nincs-helye-a-kaktuszoknak-a-hazai-floraban-234>)

A Duna-Tisza köze (Debrecen környéke és a Nyírség mellett) különben az észak-amerikai homoki prérifű (*Sporobolus cryptandrus*) kriptikus, azaz sokáig észrevétlen inváziójának is a színtere (7. ábra a köv. oldalon), ami a közelmúltban „berobbant” és komoly veszéllyel fenyegeti a természetes hazai gyeptársulásokat (Kröel-Dulay és mtsai, 2024, Török és mtsai, 2021).

Egy további lehetőség az úgynevezett horizont-szkennelés, ami a jövőkutatás eszköztárában került kifejlesztésre (Hulme, 2025) és már több földrajzi területre vagy élőlény csoportra történt kísérlet az idegenhonos inváziós fajok prognózisára (Vaz és mtsai, 2021). Alapja a rendelkezésre álló adatbázisok elemzése és a szakirodalom feldolgozása, ami után a szakértői véleményeket interaktív vita



7. ábra. Észak-amerikai homoki prérifű (*Sporobolus cryptandrus*) kriptikus inváziója a Duna-Tisza közén, Debrecen körül és a Nyírségben
(forrás: Török és mtsai, 2021; <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
fotó: <https://invaziobiologia.hu/a-homoki-prerifu-invazioja/>)

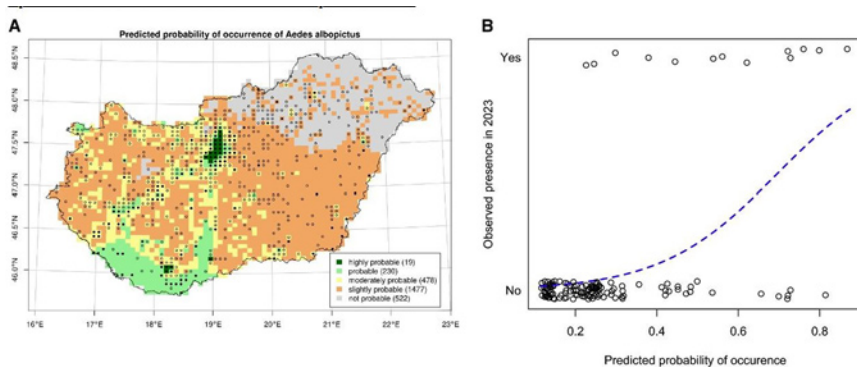
útján szerkezetbe rendezik és előrelátások (foresights) formájában összegzik. Már bizonyítottan bevált módszer kisebb régiókban, különösen szigeteken (pl. Írországból (Lucy és mtsai, 2020); Cipruson (Peyton és mtsai, 2019).

A természetben bekövetkező változások mozgatórugóinak folyamatos erősödése jelentősen növelheti az idegenhonos inváziós fajok számát és hatásait a jövőben. Egy példa a sok közül: a virágföld-kereskedelem óriási mértékű bővülése térben és mennyiségben többek között egyes csigafajok és több fűfaj terjedését segíti elő. A vízi ökoszisztémákban világszerte nagy számban található idegenhonos inváziós növény- és állatfajok előrejelzését nehezíti a számos terjedési útvonal (szándékos vagy véletlen betelepítés, vízi úton, beleértve hajók ballasztvizében vagy a levegőben, pl. madarak közvetítésével; IPBES, 2023). Az európai uniós jegyzék második körös bővített változatában szereplő 33 természetben észlelt és 11 zárt tartásban hazánkban is előforduló faj terjedési útvonalainak átfogó elemzését és értékelését, tovább az útvonalak felszámolását célzó cselekvési terveket Nagy és mtsai (2020) végezték el.

Új dimenziók a hazai kutatásban: interdiszciplináris megközelítés és közösségi tudomány

A kellő ismeretek birtoklása és a társadalmi részvétel az idegenhonos inváziós fajok elleni küzdelemben létfontosságú. A HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont vezetésével 2023-ban megalakult konzorcium, az Egészségbiztonsági Nemzeti Laboratórium részeként működő Invázióbiológiai Divízió létrehozása új távlatokat nyit a hazánkban hagyományosan magas szintű invázióbiológiai kutatásoknak (<https://invaziobiologia.hu/>). A konzorcium további tagjai a Pécsi Tudományegyetem, HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, az Állatorvostudományi Egyetem és a HUN-REN Állatorvostudományi Kutatóintézet. Küldetése, hogy távoli szakterületeket átfogva, egységes koncepció mentén adjon választ az újonnan megjelenő fajok által okozott kihívásokra. Célkitűzései között szerepel felmérni az inváziós fajok általi fenyegetettség mértékét, a probléma kezelésére egy egységes ökológiai keretrendszert kidolgozni és a tudományos eredményekre támaszkodva hatékony gyakorlati javaslatokat megfogalmazni a döntéshozók számára az invázió elleni védekezési stratégiák kidolgozásához.

(Megjegyzés: az Invázióbiológiai Divízió működése 2026. február 28. után a kézirat lezárása időpontjában nem biztosított.)



8. ábra. Az ázsiai tigrisszúnyog (*Aedes albopictus*) hazai elterjedésének modellezése környezeti paraméterek alapján, közösségi tudomány segítségével gyűjtött szúnyogészlelések adatait felhasználva (forrás: Garamszegi és mtsai, 2025; <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). (A) Az előfordulás valószínűsége annál nagyobb, minél sötétebb a kvadrát. A sötét körök a megfigyelt előfordulásokat, az üres körök a „pseudo-abszenciát”-t jelzik. (B) A modell által jóslott előfordulási valószínűségek viszonya a 2023-ban végzett független csapdázási adatokhoz.

Az interdiszciplináris együttműködés mellett egyre nagyobb szerepet kap a lakosság bevonása a kutatásokba, például a vadgazdálkodási szempontból jelentős inváziós emlős- és madárfajok monitorozásába (https://www.eglab.hu/hu_hu/invazios-emlos-es-madarfajok-kozossegi-alapu-monitorozasa/). Garamszegi és mtsai (2023) idegenhonos inváziós szúnyogfajok elterjedésének térképezéséhez és az ökológiai tényezők feltáráshoz sikerrel vontak be közösségi adatgyűjtést (<https://szunygomonitor.hu/>). Az állat- és közegészségügyi veszélyeket is potenciálisan hordozó ázsiai tigrisszúnyog (*Aedes albopictus*) esetében kapott elterjedési térképet mutatom be példának (8. ábra az előző oldalon).

Záró gondolat

A várható idegenhonos inváziós fajok előrejelzésének tudományos eszköztára remélhetőleg továbbra is bővülni fog, így egyre hatékonyabban tudunk felkészülni a jövő inváziós kihívásaira. Az egyik lehetséges irány a HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont és az EBNL Invázióbiológiai Divíziójának szervezésében Sarlóspusztán 2025. február 26. és 28. között megtartott I. Invázióbiológiai és ökobiztonság konferencián bemutatott, holisztikus szemléletű „One Biosecurity” koncepció, amely az egyik plenáris előadó, Philip R. Hulme professzor nevéhez fűződik (Hulme, 2024). A konferencia egyik eredménye, hogy a hatékony kommunikáció érdekében az ökobiztonság elnevezés a koncepció új magyar nyelvű fordítása (<https://invaziobiologia.hu/i-invaziobiologiai-es-okobiztonsag-konferencia-beszamolo/>).

Egy valamire azonban a tudomány sem tud hatékony választ adni. Ez pedig az emberi tényező, vagyis hogy felkészüljünk az ismeretek hiánya vagy a felelőtlen magatartás következményeként előálló inváziós eseményekre. **Ezért azzal is számolnunk kell, hogy fognak még érni minket meglepetések a jövőben!**

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom Dr. Török Katalinnak (HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont, Vácrátót) és Dr. Nagy Gergőnek (Agrárminisztérium Természetmegőrzési Főosztálya) az előadás összeállításához nyújtott hasznos tanácsaikért és észrevételeikért, valamint jelen dolgozat kéziratának véleményezéséért.

Irodalom

1995. évi LXXXI. törvény a Biológiai Sokféleség Egyezmény kihirdetéséről. -<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99500081.tv>

A Bizottság (EU) 2025/1422 végrehajtási rendelete (2025. július 17.) az (EU) 2016/1141 végrehajtási rendeletnek az Unió számára veszélyt jelentő idegenhonos inváziós fajok jegyzékének aktualizálása céljából történő módosításáról. HL L, 2025/1422, 2025.7.18., ELI: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2025/1422/oj

Decision VI/23. Alien species that threaten ecosystems, habitats or species. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-06-dec-23-en.pdf>

Az Európai Parlament és a Tanács 1143/2014/EU rendelete (2014. október 22.) az idegenhonos inváziós fajok betelepítésének vagy behurcolásának és terjedésének megelőzéséről és kezeléséről. Az Európai Unió Hivatalos Lapja L 317/35-55.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1143>

Báldi, A., Csányi, B., Csorba, G., Erős, T., Hornung, E., Merkl, O., Orosz, A., Papp, L., Ronkay, L., Samu, F., Soltész, Z., Szép, T., Szinetár, Cs., Varga, A., Vas, Z., Véték, G., Vörös, J., Zöldi V., Zsuga, K. (2017): *Behurcolt és invazív állatok Magyarországon*. Magyar Tudomány 2017/4: 399-437

Barbet-Massin, M., Rome, Q., Villemant, C., Courchamp, F. (2018): *Can species distribution models really predict the expansion of invasive species?* PLOS One 13(3): e0193085

Blondel, J., Hoffmann, B., Courchamp, F. (2014): *The end of Invasion Biology: intellectual debate does not equate to nonsensical science*. Biol. Invasions 16: 977-979. <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0560-6>

Botta-Dukát Z., Mihály B. (szerk.) (2006): *Biológiai inváziók Magyarországon – Özönnövények II*. TermészetBÜVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, 410 p.

Csiszár, Á. (szerk.) (2012): *Inváziós növényfajok Magyarországon*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron

DAISIE (2009): *Handbook of alien species in Europe*. Invading Nature Springer Series in Invasion Ecology, Vol. 3. DAISIE. – Springer, Dordrecht, 400 pp. (a program honlapja: <http://www.europe-aliens.org>)

Elliott-Graves, A. (2016): *The problem of prediction in invasion biology*. Biol. Philos. 31, 373-393. <https://doi.org/10.1007/s10539-015-9504-0>

Fournier, A., Penone, C., Pennino, M. G., & Courchamp, F. (2019): *Predicting future invaders and future invasions*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 116 (16) 7905-7910. DOI: 10.1073/pnas.1803456116

Garamszegi, L.Z., Soltész, Z., Szentiványi, T., Kurucz, K., Nagy, G., Bede-Fazekas, Á. (2025): *Identifying ecological factors mediating the spread of three invasive mosquito species: citizen science informed prediction*. J. Pest Sci. 98, 913-928. <https://doi.org/10.1007/s10340-024-01841-7>

Genovesi P., Shine C. (2007): *Európai stratégia az özönfajok ellen. Az európai vadon élő növények, állatok és természetes élőhelyeik védelméről szóló egyezmény (Berni Egyezmény) dokumentuma*. Fertő-Hanság és Őrségi Nemzeti Park Igazgatóság, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest, 60 p.

Haraszthy, L. (szerk.) 2022: *Özönállatfajok Magyarországon*. Duna-Ípoly Nemzeti Park Igazgatóság, Külgazdasági és Külügyminisztérium, Budapest.

Hulme, P.E. (2020): *One Biosecurity: a unified concept to integrate human, animal, plant, and environmental health*. Emerg. Top. Life Sci. 4 (5):539-549. <https://doi.org/10.1042/ETLS20200067>

Hulme, P.E. (2025): *Trouble on the horizon: anticipating biological invasions through futures thinking*. Biol. Rev. 100: 461–480. doi: 10.1111/brv.13149

IPBES (2023a). *Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Roy, H. E., Pauchard, A., Stoett, P., and Renard Truong, T. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430682>

IPBES (2023b): *Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Roy, H. E., Pauchard, A., Stoett, P., Renard Truong, T., Bacher, S., Galil, B. S., Hulme, P. E., Ikeda, T., Sankaran, K. V., McGeoch, M. A., Meyerson, L. A., Nuñez, M. A., Ordóñez, A., Rahlao, S. J., Schwindt, E., Seebens, H., Sheppard, A. W., and Vandvik, V. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430692>. - *Az IPBES idegenhonos inváziós fajok döntéshozóknak szóló összefoglalójának legfontosabb üzenetei*. IPBES Invasive Alien Species SPM_magyarul_final.pdf. <https://www.biodiv.hu/download-file/42>

Kontschán, J., és Kiss, B. (2024): *Rovarinváziók Magyarországon*. Új Tudományos Zsebkönyvtár, Typotext Kiadó, Budapest, 147 pp.

Kröel-Dulay, Gy., Rigó, A., Tanács, E., Sztár, K., Ónodi, G., Aradi, E., Bakró-Nagy, Zs., Bíró, M., Botta-Dukát, Zs., Kalapos, T., Kelemen, A., Laborczi, A., Pásztor, L., Rabuogi, Q.A., Mojzes, A. (2024): *Explosive spread of sand dropseed (*Sporobolus cryptandrus*), a C4 perennial bunchgrass, threatens unique grasslands in Hungary (Central Europe)*. NeoBiota 95: 59–75. <https://doi.org/10.3897/neobiota.95.124667>

EASIN - European Alien Species Information Network. <https://easin.jrc.ec.europa.eu/easin>

Lucy, F.E., Davis, E., Anderson, R., Booy, O., Bradley, K., Britton, J.R., Byrne, C., Caffrey, J.M., Coughlan, N.E., Crane, K., Cuthbert, R.N., Dick, J.T.A., Dickey, J.W.E., Fisher, J., Gallagher, C., Harrison, S., Jebb, M., Johnson, M., Lawton, C., Lyons, D., Mackie, T., Maggs, C., Marnell, F., McLoughlin, T., Minchin, D., Monaghan, O., Montgomery, I., Moore, N., Morrison, L., Muir, R., Nelson, B., Niven, A., O'Flynn, C., Osborne, B., O'Riordan, R.M., Reid, N., Roy, H., Sheehan, R., Stewart, D., Sullivan, M., Tierney, P., Treacy, P., Tricarico, E., Trodd, W. (2020): *Horizon scan of invasive alien species for the island of Ireland. Management of Biological Invasions* 11(2): 155–177. <https://doi.org/10.3391/mbi.2020.11.2.01>

Magyar Mezőgazdaság (2023): *Lódarázsvadászat képekben*.

<https://magyarmezogazdasag.hu/2023/12/23/lodarazsvadaszat-kepekben/>

Nagy, G. G., Czirák, Z., Demeter, A., Dóka, R., Fadel, N., Jónás, B., Riskó, A., Schmidt, A., Sulyán, P., Vácsi, O., Érdiné dr. Szekeres, R. (2020): *Az európai uniós jegyzéken szereplő idegenhonos inváziós fajok terjedési útvonalainak magyarországi átfogó elemzése és értékelése, valamint a terjedési útvonalak cselekvési tervei*. Agrárminisztérium, Természetmegőrzési Főosztály. 109 p.

Novoa, A., Richardson, D.M., Pyšek, P., Meyerson, L.A., Bacher, S., Canavan, S., Catford, J.A., Čuda, J., Essl, F., Foxcroft, L.C., Genovesi, P., Hirsch, H., Hui, C., Jackson, M.C., Kueffer, C., Le Roux, J.J., Measey, J., Mohanty, N.P., Moodley, D., Müller-Schärer, H., Packer, J.G., Pergl, J., Robinson, T.B., Saul, W.-C., Shackleton, R.T., Visser, V., Weyl, O.L.F., Yannelli, F.A., Wilson, J.R.U. (2020): *Invasion syndromes: a systematic approach for predicting biological invasions and facilitating effective management*. Biol. Invasions 22:1801–1820. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02220-w>

Pagad, S., Genovesi, P., Carnevali, L., Scalera, R., Clout, M (2015): *IUCN SSC Invasive Species Specialist Group: invasive alien species information management supporting practitioners, policy makers and decision takers*. Management of Biological Invasions 6 (2): 127–135. doi: <http://dx.doi.org/10.3391/mbi.2015.6.2.03>

Peyton, J., Martinou, A.F., Pescott, O.L., Demetriou, M., Adriaens, T., Arianoutsou, M., Bazos, I., Bean, C.W., Booy, O., Botham, M., Britton, J.R., Cervia, J.L., Charilaou, P., Chartosia, N., Dean, H.J., Delipetrou, P., Dimitriou, A.C., Dörfinger, G., Fawcett, J., Fytis, G., Galanidis, A., Galil, B., Hadjikyriakou, T., Hadjistylli, M., Ieronymidou, C., Jimenez, C., Karachle, P., Kassinis, N., Kerametsidis, G., Kirschel, A.N.G., Kleitou, P., Kleitou, D., Manolaki, P., Michailidis, N., Mountford, J.O., Nikolaou, C., Papatheodoulou, A., Payiatis, G., Ribeiro, F. Rorke, S.L., Samuel, Y., Savvides, P., Schafer, S.M., Tarkan, A.S., Silva-Rocha, I., Top, N., Tricarico, E., Turvey, K., Tziortzis, I., Tzirkalli, E., Verreycken, H., Winfield, I.J., Zenetos, A., Roy, H.E. (2019): *Horizon scanning for invasive alien species with the potential to threaten biodiversity and human health on a Mediterranean island*. Biol. Invasions 21:2107–2125. <https://doi.org/10.1007/s10530-019-01961-7>

Papp, L. (2017): *Behurcolt és invazív állatok Magyarországon*. Magyar Tudomány 2017/4:386–387.

Pyšek, P., Hulme, P.E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.M., Carlton, J.T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L.C., Genovesi, P., Jeschke, J.M., Kühn, I., Liebhold, A.M., Mandrak, N.E., Meyerson, L.A., Pauchard, A., Pergl, J., Roy, H.E., Seebens, H., van Kleunen, M., Vilà, M., Wingfield, M.J. and Richardson, D.M. (2020): *Scientists' warning on invasive alien species*. Biol. Rev. 95:1511–1534. doi: 10.1111/brv.12627

Török, P., Schmidt, D., Bátor, Z., Aradi, E., Kelemen, A., Hábczyus, A.A., Díaz Cando, P., Tölgyesi, Cs., Pál, R. W., Balogh, N., Tóth, E., Matus, G., Tábor, J., Sramkó, G., Laczkó, L., Jordán, S., McIntosh-Buday, A., Kovács-Vári, G., Sonkoly, J. (2021): *Invasion of the North American sand dropseed (Sporobolus cryptandrus) – A new pest in Eurasian sand areas?* Global Ecology and Conservation 32: e01942

Varga, Z. (2017): *A biológiai invázió általános kérdései*. Magyar Tudomány 2017/4: 388–393.

Vaz, A.S., Novoa, A., Vicente, J.R., Honrado, J.P., Shackleton, R.T. (2021): *Editorial: Invaders on the Horizon! Scanning the Future of Invasion Science and Management*. Frontiers in Ecology and Evolution 9:756339. DOI: 10.3389/fevo.2021.756339

Változások kora – Tények a hiedelmekkel szemben a hazai madárvilág és a biológiai sokféleség helyzetéről a madarak monitorozása révén

Szép Tibor

szep.tibor@nye.hu

Jelentős környezeti változások korát éljük az emberi tevékenység fokozódó közvetlen és közvetett hatásai miatt. A globális klímaváltozás, a vadon élő növény- és állatvilág, s élőhelyeinek drámai csökkenése, valamint azok állapotának kedvezőtlen változása jelentős bizonytalanságot rejt magában valamennyi emberi közösség jövője számára globálisan és lokálisan egyaránt. A változások korában rendkívüli jelentőségű, hogy a kedvezőtlen folyamatokat időben detektálhassuk, hisz az azok okozta hatások elkerülésének/kezelésének esélye annál nagyobb és annál kevesebb költséggel jár, minél hamarabb tudjuk azonosítani, majd a szükséges megoldásokat kifejleszteni és alkalmazni.

A biológiai sokféleség helyzetének és az azt befolyásoló hatásoknak a figyelemmel követése, a biodiverzitás-monitorozás, rendkívüli kihívást jelent. Ellenkéntben az időjárási paraméterekkel, amelyek műszeres mérése jól kivitelezhető változatos térbeli léptékben, a biológiai sokféleség mérésének „műszerei” az adott élőlénycsoportot jól felismerő, több éves gyakorlattal rendelkező szakemberek. A speciális azonosítási tudást igénylő élőlénycsoportok száma több ezres nagyságrendű a vadon élő növény- és állatvilág sokfélesége miatt. A genetikai (barcoding) és a fajok jellemzői alapján (pl. kép, hang, mozgás, stb.) történő mesterséges intelligencia (AI) alkalmazások új lehetőségeket jelenthetnek bizonyos fajcsoportok esetében a fajok előfordulásának és mennyiségének műszeres mérésére, azonban ezek széleskörű alkalmazásától még távol vagyunk.

A biológiai sokféleség helyzetének monitorozását alapvetően olyan indikátor fajok/fajcsoportok révén lehet a jelenlegi lehetőségek alapján kivitelezni, amely fajok/fajcsoportok alkalmasak arra, hogy adott térbeli (lokális, regionális, országos, kontinentális, globális) léptékben képesek legyenek jelezni, indikálni, az adott terület biodiverzitás-helyzete szempontjából fontos változásokat és hatásokat. Egy ország főbb tájaira és élőhelyeire reprezentatív adatokat biztosító monitorozásra alkalmas indikátor fajok/fajcsoportok esetében lényeges körülmény, hogy kellő számú szakember álljon rendelkezésre, amely jelentősen behatárolja az ilyen vizsgálatokba bevonható indikátor faj/fajcsoportok számát, a rendelkezésre álló humán és anyagi források igen korlátozott volta miatt.

A fentiek alapján szinte megoldhatatlannak látszó feladat, hogy hazánk biológiai sokféleségének változásáról, a főbb élőhelyek állapotáról rendszeresen frissülő adatokkal rendelkezünk. Pedig a XXI. század első negyedében számos markáns hatással kell számolnunk a hazai biodiverzitás esetében. Az ország területének

2/3-ra kiterjedő mezőgazdasági területeken az EU Közös Agrár Politika (KAP) keretében a gazdálkodáshoz a korábbi évtizedekhez képest lényegesen nagyobb anyagi források állnak rendelkezésre, amelye kiterjedt élőhelyek állapotát nagyban módosíthatja. A KAP támogatások bevezetése az 1980-as években az EU korábbi tagállamaiban drámai csökkenést okozott a mezőgazdasági élőhelyek biológiai sokféleségében. A globális klímaváltozás a Kárpát-medencében erőteljes, számos jellemzőjében meghaladja a Közép-Európa más régióiban tapasztaltakat, amelyek jelentős következményei várhatóak a hazai biológiai sokféleségre. Ugyanakkor a vadonélő fajokkal foglalkozó szakmai közösségek mellett a közvélemény részéről is fokozódó érdeklődés mutatkozik a hazai élővilág helyzete iránt. Egyrészt a széles körben ismert fajoknál a lakosság által is közvetlenül tapasztalható változások (pl. a fecskék számának csökkenése), másrészt a médiákban az élővilág kedvezőtlen helyzetét a világ számos pontján bemutató híradások nyomán.

A Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület (MME) keretében, nemzetközi szakmai támogatással, 1999-ben indított Mindennapi Madaraink Monitoringja (MMM) program keretében, vállalkoztunk a „lehetetlenre”, és célul tűztük ki, hogy a hazai fészkelő madárállományok speciális, rendszeres és kiterjedt vizsgálatával lehetőséget teremtünk nemcsak a hazai fészkelő madárfajok helyzetének, hanem azok révén a hazai főbb élőhelyek biodiverzitásának folyamatos monitorozására.

A madárfajok alkalmas indikátorai a biológiai sokféleség állapotának:

- állományuk a táplálékhálózatokban elfoglalt helyzetük miatt jelentős részben függ a biológiai sokféleségben bekövetkező változásoktól,
- széleskörű ismertségük révén a legnagyobb létszámú, döntően önkéntesen alapuló felmérői hálózatok működnek a világban és hazánkban is, amelyek nemzetközi és nemzeti szervezetek széleskörű együttműködése keretében működnek több évtizede,
- az egyik legintenzívebben kutatott élőlénycsoport, amely fontos a tapasztalt változások értelmezésében.

Hasonlóan a legtöbb élőlénycsoportéhoz, a madarak esetében is hagyományosan a ritka és a veszélyeztetett fajok állományának monitorozása indult meg először és van a fókuszban a legtöbb országban, azonban e fajok adatai alapján korlátozott lehetőség van a főbb élőhelyek biológiai sokféleségének követésére. Az 1990-es években fogalmazódott meg a több évtizedes monitorozási hagyománnyal rendelkező országokban, hogy a madarak esetében rendelkezésre álló kiterjedt felmérői hálózat egyedülálló lehetőséget ad arra, hogy a széles körben elterjedt, gyakori madárfajok állományait monitorozó programok induljanak. E programok révén nemcsak nagyszámú madárfaj állományairól, hanem a számos madárfaj által használt élőhelyek állapotáról is kaphatunk információt rendszeresen, országos szinten.

A gyakori madarak monitorozása azonban csak alkalmas mintavételi stratégia és sztenderd felmérési módszer révén nyújthat megbízható információt az állományváltozásról. A különböző alkalomtól és személytől függő módon, helyen és időben gyűjtött adatok elemzése, még azok nagy száma esetén is komoly bizonytalanságot jelent az eredmények értelmezésében. E fajok esetében kizárólag olyan mintavételi területeken zajló felmérések szolgálhatnak alapul az állományváltozás korrekt becslésére, amely területek az ország főbb tájaira és élőhelyeire reprezentatívak és megfelelő kiterjedésűek. Alapvető, hogy a felmért fajok és az azok számát befolyásoló körülmények (pl. terület, időszak, napszak, időtartam, időjárás stb.) az alkalmazott sztenderd módszer révén, valamint a résztvevő nagyszámú felmérő közötti fajazonosítási különbségek kontrollálhatóak legyenek.

Az MMM keretében 1999 óta eddig több mint ezer felmérő kapcsolódott be és végzett felmérést az általuk megadott legalább 100 km² nagyságú területen belül random módon kisorsolt 2,5*2,5 km nagyságú mintaterületeken (UTM négyzetben). A felmérésre került mintaterületeken a főbb élőhelyek aránya tükrözi ezen élőhelyek országos arányát, és a felmérések hazánk valamennyi tájára kiterjedően zajlanak. A mintaterületen belül a felmérők random módon kiválasztott 15 db 200 m sugarú területen belül végzik a felmérést a fészkelési időszakban, két alkalommal, előre megadott időszakban. Minden ponton a reggel 5-10 óra között végzett bejárások során jegyzik fel az 5 perc alatt különböző távolsági (50, 100, 200 m) kategórián belül megfigyelt/hallott fajokat és azok egyedszámát. Számos mintavételi területen a felmérők a téli időszakban, januárban is elvégzik a felmérést, amely lehetőséget ad a telelő állomány helyzetének monitorozására is.

Az MMM keretében, a nemzetközi sztenderdeknek megfelelő mintavételi és felmérési módszerek révén 1999–2023 között 1320 db 2,5*2,5 km nagyságú mintavételi területen történt felmérés, jelentős részükben több éven keresztül, évente átlagosan 150–290 db mintavételi területen az ország területének közel 2%-án. 1999–2023 között több mint 50 millió rekord nagyságú felmérési alaptadabázis jött létre a felmért fajok gyakoriságának, élőhelyhasználatának és állományváltozásának vizsgálatához, amely egyike a legnagyobb ilyen adatbázisoknak Közép-Európában, amely szerves részét képezi a Pán-Európai Gyakori Madár Monitoringnak (PECBMS).

Az MMM keretében 101 hazánkban fészkelő madárfaj (a hazai fészkelő fajok 48%-a) esetében van mód modern statisztikai módszerek révén megállapítani az állományváltozás trendjét.

A legtöbb csökkenő trendet mutató faj azok közül kerül ki, amelyek hazai fészkelő állománya döntően a mezőgazdasági élőhelyeken figyelhető meg. Az erdei, illetve a veges/különböző típusú élőhelyeket használó fajok esetében a

növekedést mutató fajok vannak a legnagyobb számban. A mezőgazdasági élőhelyekhez legjobban kötődő hazai fészkelő fajok esetében az állománynagyságuk változása alapján számított biodiverzitás indikátor (Farmland Bird Indicator, FBI) közel 30%-kal csökkent, döntően 2004-től kezdődően, ami nemcsak az itt fészkelő madárfajok, hanem az itt élő más állóhelycsoportok állományának jelentős csökkenését is jelzi, hasonlóan a számos más EU tagállamban tapasztaltakhoz. Az MMM adatain alapuló vizsgálataink azt mutatják, hogy bár az agrár-környezetgazdálkodási programok lehetőséget adhatnak az egyre intenzívebb agrárgazdálkodás kedvezőtlen hatásainak mérséklésére, azonban azoknak a jelenleginél lényegesen nagyobb területre kiterjedően kellene folyniuk.

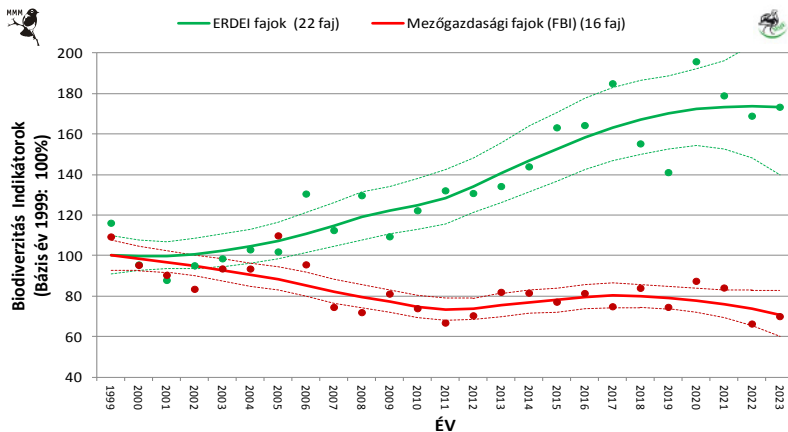
A hazai vizes élőhelyeket preferáló fészkelő fajok állományai is jelentős csökkenést mutatnak, 40%-kal csökkentek. Ennek hátterében ezen élőhelyek számának és kiterjedésének jelentős csökkenése játszik jelentős szerepet, a klímaváltozás és e területek használatával kapcsolatos kedvezőtlen változások miatt.

Adataink a hazai fészkelő madárfajok esetében eltérő trendet mutatnak a különböző vonulási stratégiával jellemezhető fajok esetében. A hosszútávon vonuló fajok hazai állományai közel 30%-kal csökkentek 1999 óta. A részlegesen vagy rövidtávon vonuló hazai fészkelő fajok állományai, amelyek a Földközi-tenger térségeiben telelnek döntően, kismértékű növekedést mutatnak, míg a hazai állandó fészkelő fajaink esetében az állománynagyság jelentősen, 75%-kal növekedett. A legtöbb hazánkban telelő madárfaj állományának növekedése az enyhe telek fontos hatását jelzi.

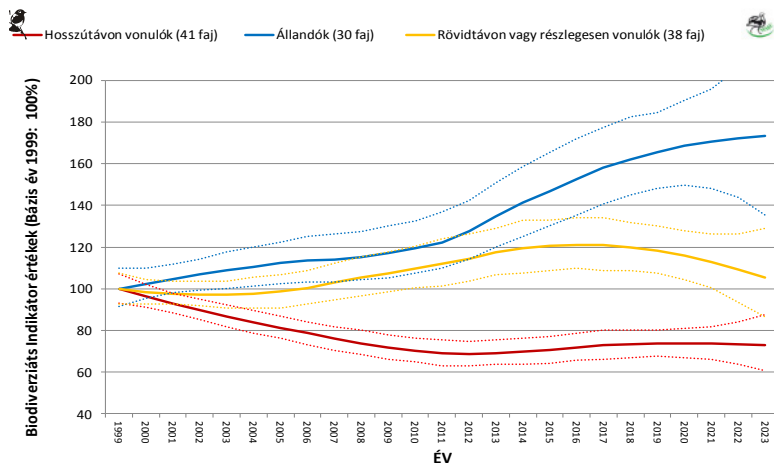
A mezőgazdasági élőhelyeket és erdei élőhelyeket használó fajok között az állományváltozásban látható markáns különbség hátterében nagy szerepe van annak, hogy e két élőhelyet használó fajok különböznek a vonulási jellemzőikben. A mezőgazdasági élőhelyeken lényegesen nagyobb a hosszútávon vonuló, csökkenést mutató fajok aránya, míg az erdei élőhelyeken fészkelő fajok között lényegesen nagyobb arányban vannak az állandó, illetve a részlegesen/rövidtávon vonuló fajok, amelyekre döntően növekvő/stagnáló trendek jellemzőek.

Adataink a klímaváltozás hatásainak első „vesztéseit” és jelenlegi „nyerteseit” jelzik a madárfaunában hazánkban. A klímaváltozás hatásai további jelentős változásokat eredményezhetnek a jelenleg még „nyertesnek” látszó fajoknál, amelyek esetében az enyhébb téli időszak mellett a szaporodási és kirepülési időszakokban várható kedvezőtlen hatások (pl. szárazságok, extrém időjárás) szerepe növekedhet a következő évek során. Az élőhelyek természeti állapota jelentős mértékben befolyásolja a klímaváltozás hatásait, amit jól mutat, hogy mezőgazdasági élőhelyeken az állandó és rövidtávon vonuló fajok állományai is csökkennek akkor, amikor az ilyen vonulási stratégiájú, erdei élőhelyeken fészkelő fajokat egyébként növekedés jellemzi.

A Mindennapi Madaraink Monitoringja (MMM) adatai alapján folyamatosan frissülő átfogó képet kaphatunk a hazai madárfauna és azon keresztül a hazai főbb élőhelyek és azok biológiai sokféleségének helyzetéről. A széleskörű nemzetközi együttműködés lehetőséget teremt a tapasztalt változások háttérében lévő regionális, kontinentális és globális hatások azonosítására.



1. ábra. A hazai fészkelő mezőgazdasági (FBI) és erdei fajok állománytrendjei alapján számított Biodiverzitás Indikátor index értékei 1999-2023 között az MMM adatai alapján (95% konfidencia-intervallumokkal).



2. ábra. A hazai különböző vonulási stratégiájú fészkelő fajok állománytrendjei alapján számított Biodiverzitás Indikátor index értékei 1999-2023 között az MMM adatai alapján (95% konfidencia-intervallumokkal).

Csak szembesüljünk, vagy nézzünk is szembe az árvízszintek emelkedésével?

Szlávik Lajos

Magyar Hidrológiai Társaság, Budapest

szlavik@hu.inter.net

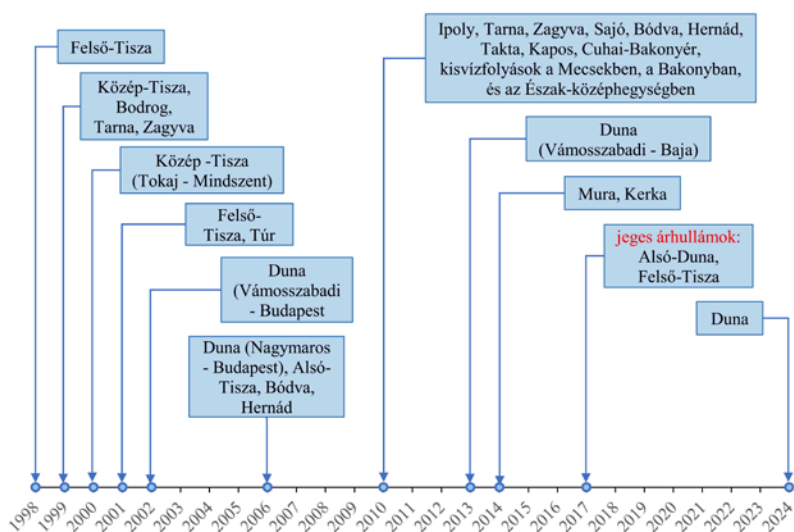
A 21. században nem tartható fenn a jelenlegi vízgazdálkodási gyakorlat, ezért a víz lesz századunk egyik legnagyobb kihívása. A vízválság egyik tényezője a „sok víz” problémája, amely három területen jelentkezik: a folyók árvizeinél, a települések ún. helyi vízkárainál és a hazai sajátosságként jelentkező belvizeknél (Kőrösi 2018; Szöllősi-Nagy 2018; Váradi 2021). A tanulmány áttekinti az elmúlt negyedszázadban előfordult szélsőséges hidrológiai eseményeket (árvizeket, vilámárvizeket és belvizeket), megfogalmazza az azokból leszármazható tapasztalatokat és bemutatja a kezelésükre alkalmazott újszerű műszaki megoldásokat.

Az 1998–2024. közötti árvizek és az árhullámok változásai

Az 1998 utáni időszakban – napjainkig – 11 jelentős árvíz vonult le folyóinkon (1. ábra), amelyek – különböző paraméterek alapján – jogosan minősíthetők rendkívülinek. Az 1998–2006 közötti időszak kilenc évéből hat év 7 rendkívüli árvizet hozott (az 1998., 1999., 2000., 2001. és 2006. évi Tisza-völgyi árvizek, valamint a Duna 2002. és 2006. évi árvizei. Szokatlan árvízi helyzeteket okozott a 2010. év; 2013-ban minden addigit meghaladó magasságú és vízhozamú árhullám vonult le a Duna hazai szakaszán. 2017 január-februárban a Felső-Tisza és az Alsó-Dunán jeges árhullámok alakultak ki, amelyek védelmi beavatkozásokat igényeltek. 2024. szeptemberében – szokatlan időpontban – jelentős árhullám vonult le a Dunán.

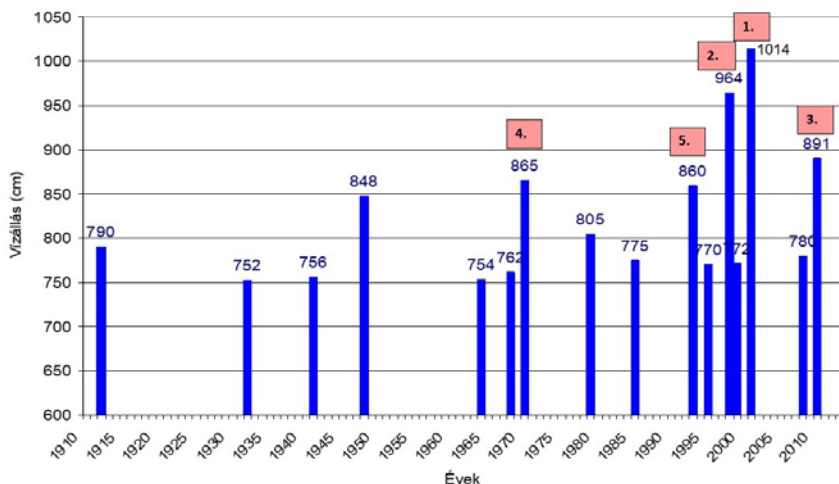
Egy-egy jelentősebb árvízi esemény mindig fontos alapot jelentett, indítékot szolgáltatott az árvízvédelem fejlesztéséhez. Így volt ez már a 19–20. században is és ilyen új fejlesztési szakaszt indítottak el a Tisza-völgy 1998–2006 közötti, valamint a Duna-völgy 2002–2013. közötti rendkívüli árvizei is.

A legutóbbi 20 évben érzékelhető változások következtek be az árvizek előfordulási időszakaiban: a Felső-Tisza pl. 1998. novemberében az *addigi legnagyobb vízszint* (LNV) alakult ki. Ősszel ilyen nagyságrendű árhullámok itt korábban sohasem voltak. A Dunán, 2002 augusztusában LNV-k alakultak ki a Budapestig terjedő folyószakaszon – ez is példátlan a dunai árhullámok történetében. Egyéb példák is bizonyítják, hogy a hazai folyókon az év bármely szakában előfordulhatnak árvizek. Emelkednek, gyakoribbá válnak és az egyes

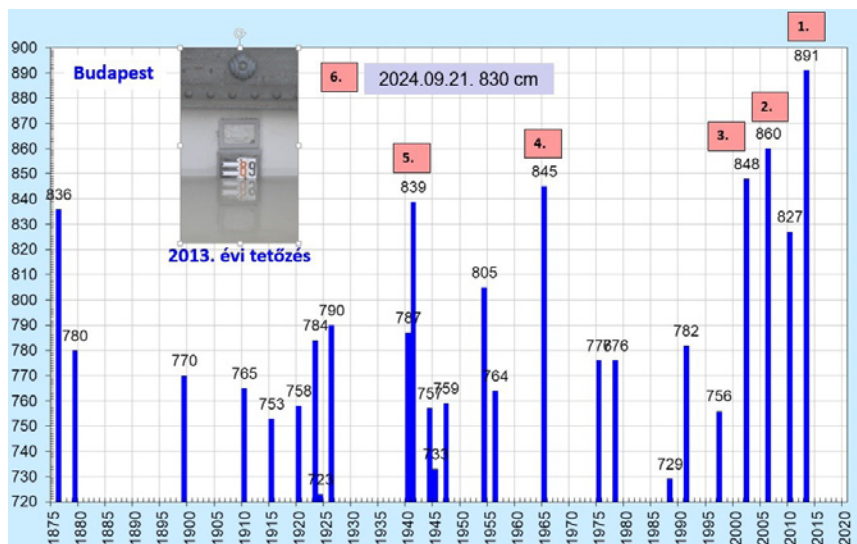


1. ábra. Jelentősebb árhullámok Magyarországi folyóin (1998-2024).

szelvényekben „sűrűsödnek” az árvizek. Példaként bemutatjuk, hogy Tiszán Tivadarnál (2. ábra) az eddigi 3 legmagasabb árvízszint 15 év alatt (1998-2013), a Dunán Budapestnél (3. ábra) 11 év alatt (2002-2013) következtek be.



2. ábra. 750 cm-t meghaladó tetőző vízállások a Tiszán Tivadarnál (1910-2013).



3. ábra. 720 cm-t meghaladó tetőző vízállások a Dunán, Budapestnél (1875-2013).

A vizsgált időszak árvizeinek hidrológiai tapasztalatai a következőkben foglalhatók össze (Szlávik 2007, 2013a, 2013b, 2014, 2024):

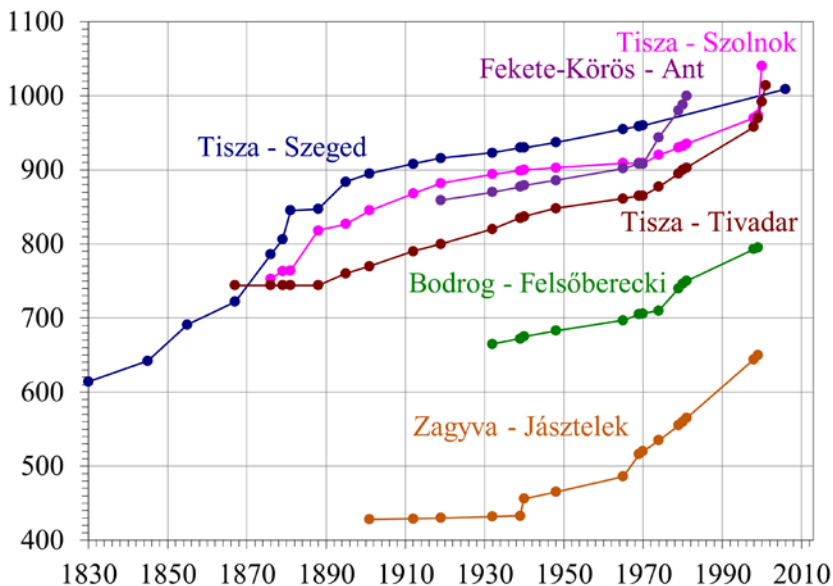
- az 1998-2014. közötti években LNV értékek a Tiszán és a Dunán is dinamikusan emelkednek;
- 28 hónap alatt (1998 novembere–2001 márciusa között) négy LNV-t adó árhullám vonult le a Tiszán;
- 15 év alatt a Dunán (Mohács kivételével) és a Tiszán mindenütt LNV alakult ki;
- a vízhozamok dinamikus növekedése (Duna, Felső-Tisza, kisvízfolyások), illetve csökkenése (Közép- és Alsó-Tisza) figyelhető meg;
- az 1998-2001. közötti négy árhullámnál a Közép-Tiszán a főmeder és a hullámtér vízszállításának anomáliáit lehetett megfigyelni. A hullámtér csak minimálisan vett részt a vízszállításban; a Tisza árvízi medre medencék sorozatát alkotja: az árvízi levonulás itt tározódási folyamatként jelenik meg;
- eddig soha nem tapasztalt ütemű vízszintemelkedések fordultak elő számos folyón, szelvényben; tartós magas vízszintek alakultak ki; az apadás gyakorta elhúzódott, lassú folyamat volt;
- a 2001. évi árvíznél a tarpai gátszakadások kiépítetlen, előregedett, átázott töltéseknél következtek be; LNV feletti vízállásnál, rendkívüli víznyomás mellett; sorozatos suvadásokat követően;

- a 2002., 2006. és 2013. évi árvizeknél a Duna mellékfolyói jelentős szerepet játszottak a vízszintek, vízhozamok alakításában;
- a dunai és tiszai tetőzések rendkívül ritka és példátlan mértékű egybeesése alakult ki a 2006. évi árvíznél a Tisza titeli torkolatánál.

Az árvizek adott szint feletti tartóssága növekszik, helyenként jelentős mértékben. A tetőző vízhozamok a hazai felső szelvényekben a Dunán és a Tiszán intenzíven növekednek, a folyók alsó szakaszán – az árhullám-csúcsok ellapulása és a hullámtéri tározódás következtében – mérsékelten emelkednek, de akár csökkenhetnek is. A tetőző vízhozamok csökkenésének oka pl. a Tiszán, hogy a víztömeg döntő része a mederben folyik le, a hullámtér gyakorlatilag elsősorban árvíztározóként funkcionál. Ezt mérés-sorozatok bizonyítják.

A Tiszán és mellékfolyóin, de a Dunán is az elmúlt 100-180 évben számos új LNV alakult ki. A 4. ábra ezek időbeli egymásutániségát és növekedését szemlélteti. Az utóbbi néhány évtizedben az árvízszint-emelkedés intenzitása több szelvényben növekedett. A hazai árvízvédelem fejlesztésének stratégia kérdései a vízszint növekedés okai, várható üteme és mértéke.

Észlelt legnagyobb vízszintek (cm)



4. ábra. Az árvízszintek emelkedése a Tiszán és mellékfolyóin (1830-2013).

A síkvidéki, körtöltéses árvízi tározókat a **tiszai** (Körösök, Berettyó, Zagyva) és **dunai mellékfolyókon** (Rába, Lajta) már 1966-tól kezdődően folyamatosan alakították ki és üzemszerűen alkalmazták, kedvező eredményekkel és tapasztalatokkal.

A **magyarországi Duna-szakaszon** árvízi tározók kialakítására nincs lehetőség, itt a védvonalak erősítésével, fejlesztésével, az ún. „nem szerkezeti módszerek” alkalmazásával, szervezési intézkedésekkel kell fejleszteni az árvízvédelmet.

Az árvízszintek emelkedése

Az árvizek adott szint feletti tartóssága általában növekszik, helyenként jelentős mértékben. A tetőző vízhozamok a hazai felső szelvényekben a Dunán és a Tiszán intenzíven növekednek, a folyók alsó szakaszán – az ár hullám-csúcsok ellapulása és a hullámtéri tározódás következtében – mérsékelten emelkednek, de akár csökkenhetnek is. A tetőző vízhozamok csökkenésének oka pl. a Tiszán, hogy a víztömeg döntő része a mederben folyik le, a hullámtér gyakorlatilag elsősorban „árvíztározóként” működik. Ezt mérés-sorozatok bizonyítják.

A Tiszán és mellékfolyóin az elmúlt 100-180 évben számos új legnagyobb vízszint (LNV) alakult ki. A 4. ábra ezek időbeli egymásutánosságát és növekedését szemlélteti a Tisza három szelvényére és három mellékfolyójára. Az utóbbi néhány évtizedben az árvízszint-emelkedés intenzitása több szelvényben növekedett. A hazai árvízvédelem fejlesztésének stratégia kérdései e vízszint növekedés okai, várható üteme és mértéke.

Az árvízszintek emelkedésének legalább három, egymást átfedő, egymásra halmozódó lehetséges oka van (Szlávik 2013a, 2024):

- az *éghajlatváltozás* – bár részleteiben még nem számszerűsíthető, egyelőre feltáratlan, de – vitathatatlanul jelentkező befolyása;
- a *vízgyűjtőn folytatott emberi tevékenység hatásának integrált megjelenése*, amely a felső folyószakaszokon az összegyülekezés és a lefolyás gyorsításában, a kisesésű síkvidéki szakaszokon pedig – ezzel ellentétben – a felszíni érdesség növekedésében és a hullámtéri tározódásban nyilvánul meg;
- az *újabb* – korábban még nem kialakult – *időjárási helyzetekből származó következmények*. Erre példa a Morava és a Vág hatása a 2006. évi dunai tetőzésekre; a dunai és tiszai tetőzések egybeesése Titelnél és így 2006-ban LNV kialakulása az Alsó-Tiszán; a Dráva vízzsállításának szerepe a magyarországi Alsó-Duna árvízszintjének alakításában (1965-2013) stb.

Az emelkedő árvízszintek, növekvő vízhozamok és a lefolyó víztömegek kezelésének módja eltérő megoldásokat igényel a *Tiszán*, a *tiszai és dunai mellékfolyókon*, valamint a *Dunán és a kisvízfolyásokon*.

A Vásárhelyi-terv Továbbfejlesztésének programja, tartalma és tapasztalatai



Az ezredforduló árvizei után a Tisza magyarországi szakasza mentén új árvízkezelési stratégia valósult meg, amely a *Vásárhelyi-terv Továbbfejlesztése (VTT)* elnevezést kapta. A VTT megszületését a 2000. évi rendkívüli tiszai árvíz alapozta meg, amelyet követően nyilvánvalóvá vált, hogy az árvizek emelkedő tendenciája elleni harcot a mértékadó árvízszintek újraszámolásával és az ahhoz igazított új fejlesztési feladatmeghatározással kell felvenni.

A *VTT megvalósításának alap gondolata* az volt, hogy a Vásárhelyi Pál elképzelései szerint megvalósult, az 1840-es évek igényeinek megfelelő, levezetés-szemléletű folyószabályozási és ármentesítési létesítményeket az 1990-es években már körvonalazódó új területhasználati, éghajlati és társadalmi igényekhez igazodóan fejlesszék tovább. A védtöltések tovább nem emelhetők, teret kell adni a folyóknak, a hullámtereket ki kell szélesíteni. A mentett oldali tározók építésével legyenek kialakítva azok a térfogatok, amelyeknek célszerű üzemeltetésével az érkező nagy és különösen a rendkívüli árhullámok víztömegének egy része kivezethető legyen.

A tiszai árvizek elleni védelmi feladatokat egy alapvetően új koncepció mentén fogalmazták meg. A védelmi beavatkozások három legfontosabb eleme a következő volt:

- A *védvonalak kiépítése* a mértékadó (az átlagosan 100 évenként egyszer előforduló) árvízi terhelésre.
- A nagyvízi meder *vízszállító képességének helyreállítása*, vagyis a hullámtérben a hidraulikai folyosó kialakítása és egyéb, elsősorban természetvédelmi hasznosításra alkalmas területek lehatárolása.
- Végezetül (és ez lett a VTT legismertebb alkotó eleme) a *rendkívüli árvizeknek a védvonalon kívüli visszatartása az erre a célra speciálisan kialakított tározókban*.

Ezeket a fejlesztéseket mindenkor annak szem előtt tartásával és úgy kell megvalósítani, hogy a Tisza-mente társadalmi, gazdasági fejlődése az árvízkezelés minimalizálása mellett történjék. *A megteendő lépések során meg kell teremteni a természetvédelmi, vidékfejlesztési, turisztikai fejlesztések feltételeit is.*

Az új stratégia kidolgozásakor egyértelmű elhatározás volt, hogy a VTT program nem szólhat csupán az árvízi fejlesztésről. A hullámtér és különösen a mentett oldal jelentős érintettsége miatt csak akkor látszott esély a széles körű társadalmi és politikai támogatottságra, ha a terület- és vidékfejlesztés, a természetvédelem és az új típusú, a tározók és a hullámtér hasznosításához igazított mezőgazdasági

fejlesztés is bekerül a programba, annak szerves részévé válik. A program tehát a kezdet kezdetén egységes volt abban, hogy a fejlesztés – különösen a tározókkal érintett területeken – széleskörűen járuljon hozzá a változásokhoz.

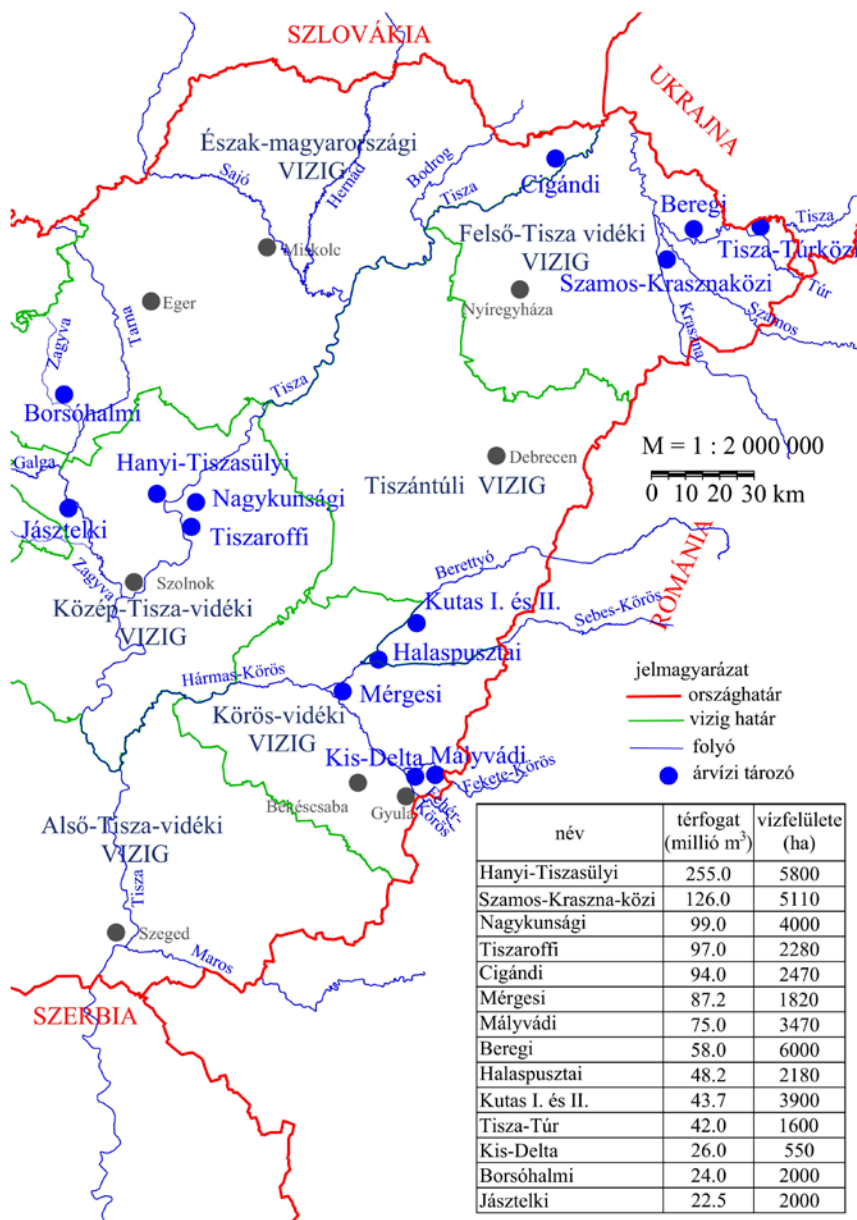
Cél volt, hogy a tározók területe legyen alkalmas a *tájgazdálkodás* feltételeinek kielégítésére. A tározókba – a Tiszában kialakuló kis- és középvizek esetében is – legyen mód vizet kivezetni, amivel a természetvédelem és tájgazdálkodás vízigényének kielégítését lehet szolgálni. Ennek érdekében kikötés volt, hogy a tározók területén intenzív mezőgazdasági művelés nem folytatható, ültetvény nem telepíthető, állattartó telep vagy más építmény nem létesíthető. Az ott tulajdonnal rendelkezők egyszeri *értécsökkenési kompenzációt* kapnak és minden előntés után *kártérítésre* jogosultak. A tározókat amúgy – az ökológiai vízkészleteken kívül – alapvetően üresen kell tartani, hogy *a tározók mindenkor álljanak készen az árvizek befogadására* (Szlávik 2004; VTT 2001).

A VTT megvalósítása 2003-ban kezdődött meg. 2022-ig 273 km² területen 771 millió m³ víz tározására alkalmas 7 db tározó megépítésére került sor (Gacsályi 2023, Szlávik 2024).

Az 5. ábra bemutatja a Tisza-völgyben a megépített, ill. kijelölt árvíztározókat. A 19 tározóból 1974-2010 között nyolcat vettek igénybe összesen 18 alkalommal. (Ezek közül a VTT-hez tartozó Tiszaroffi árvíztározót 2010-ben.) (2. kép).



2. kép. A Tiszaroffi árapasztó tározótó megnyitása, feltöltése 2010. június 10.



5. ábra. A Tisza-völgy jelentősebb árvíztározói (Szlávik 2024).

A VTT megvalósítása során szerzett tapasztalatok:

- Az eddig megépült hét tározóba kivezethető víztömeggel a Tisza teljes hosszában a rendkívüli ár-hullámok szintje mintegy 50 cm-rel csökkenthető. A 2010. évi árhullám idején igénybe vett Tisza-roffi tározó megnyitásával az árhullám tetőzését 24 cm-rel sikerült csökkenteni. Ez a próbaüzemnek is tekinthető igénybevétel alátámasztja, hogy a VTT további tározóinak 1,5 milliárd m³-re tervezett befogadóképességével az előirányzott 1 m-es vízszints csökkentése a Tisza mentén megvalósítható.
- A tájgazdálkodás feltételeinek megteremtésére az elsőként megépített Cigándi tározó területén nyílt lehetőség, azonban a tájgazdálkodás módszertanának és gyakorlatának alkalmazására – annak kidolgozatlansága, valamint a gazdák fogadóképességének hiánya miatt – egyelőre nem került sor. A 2022. évi rendkívüli aszály időszakát kivéve a tározók területére ökológiai víz kivezetésével kapcsolatos igény eddig nem merült fel.
- a VTT árvízvédelmi projekt-eleme sikeresen megvalósult, illetve halad előre, a terület- és vidékfejlesztési része azonban elmaradt a kívánalmaktól, annak ellenére, hogy a koncepcióalkotás időszakában a kidolgozók rögzítették: „csak” árvízvédelmi fejlesztésként a program sem az érintettekkel, sem a kormánnyal nem lesz elfogadható, ill. fenntartható.
- A tározók elöntése esetén a Tiszába visszavezetett víz minősége rendkívül rossz lesz. (Erre utalt a 2010. évi tiszaroffi tározás, valamint a korábbi körösi és zagyvai szükségtározások.) Ennek oka a tározó területén lévő növényzet berothadásából származó vízállapot-romlás. Emiatt a Tiszába való vízvisszavezetés is csak ütemezetten valósítható meg, a vízminőségi monitoring alapján.
- A tározók igénybevételének gazdasági elemzése során kiderült, hogy a tározók területének elöntését az eredetileg tervezett 25-30 évnél gyakrabban is érdemes megtenni, ami a kisebb árhullámok elleni védekezési költségek csökkentésével, és a tározók területének racionális hasznosításával kifizetődő lehet, klímabefolyásoló következményei pedig kedvezőek.
- A teljes Tisza-völgyi tározórendszer komplex (hidraulikai és közgazdasági modellekkel támogatott) üzemirányító rendszere is rendelkezésre áll, ami a Zagyva és a Körösök további árvízcsúcs-csökkentő tározóit is tartalmazza.

A síkvidéki, körtöltéses árvízi tározókat a *tiszai* (Körösök, Berettyó, Zagyva) és *dunai mellékfolyókon* (Rába, Lajta) már 1966-tól kezdődően folyamatosan alakították ki és üzemszerűen alkalmazták, kedvező eredményekkel és tapasztalatokkal (Szilávik 1998).

A magyarországi Duna-szakaszon árvízi tározók kialakítására nincs lehetőség, itt a védvonalak erősítésével, fejlesztésével, az ún. „nem szerkezeti módszerek” alkalmazásával, szervezési intézkedésekkel kell fejleszteni az árvízvédelmet.

Sok kritikai véleménnyel egyetértve megállapíthatjuk, hogy a VTT – bár jó-részt az előirányzott ütemnek megfelelően haladt –, de jelen állásában nem az eredeti elképzelések szerint alakult, a kapcsolódó mezőgazdasági fejlesztéseknek csak töredéke valósult meg, ami a mai klíma reziliencia miatt felértékelődő víztározási hiányosságok okán *nagy erkölcsi vesztesége a vízügyi szolgálatnak.*

Villámárvizek

Az utóbbi másfél évtized új jelenségei – egész Európában – az ún. **villámárvizek**, amelyek tömeges jelentkezése – véleményünk szerint – mindenképpen az éghajlatváltozásnak köszönhető. Ezek a villámárvizek az időjárás okozta veszélyhelyzetek egyik összetett formáját alkotják. A nemzetközi szóhasználatban *flash flood* néven ismert jelenség során alapvetően kisebb vízfolyások, patakok vízszintje emelkedik meg nagyon rövid idő (akár percek) alatt, gyors sodrásukkal medrükből kilépve hatalmas károkat okoznak, külföldi példák szerint gyakran emberéleteket követelnek. A jelenség kialakulása elsősorban meteorológia feltételekhez, meghatározóan konvektív (záporos, zivataros) nagyon intenzív csapadékhulláshoz kötött. Emellett a felszín állapota és a terület lefolyási viszonyai ugyancsak meghatározóak, erősítik vagy gyengítik az adott meteorológiai feltételek között a villámárvíz kialakulásának esélyét.

A villámárvizek alapvetően lokális jelenségek, bár előfordul, hogy egy légköri periódushoz (pl. egy veszteglő ciklonhoz) több esemény is tartozik. Ha a jelenség az ország egy kevésbé sűrűn lakott, nem frekvenciált körzetében fordul elő, akkor nem mindig kelt nagyobb szakmai, illetve média visszhangot. Általában azok az esetek kerülnek a figyelem középpontjába, ahol nagyobb káresemények keletkeznek, vagy például egy-egy nagyobb települést sújtanak.

A 2005-2023 közötti időszakban több tucat alkalommal regisztráltunk ilyen eseményeket, számos *hazai kisvízfolyáson*. Az ezek elleni védelmi stratégia összetett intézkedés-sorozatát kíván, amelynek legfontosabb eleme *a víz visszatar-tása dombvidéki víztározókban* (Szlávik 2014, 2024).

Belvizek, belvízvédelem

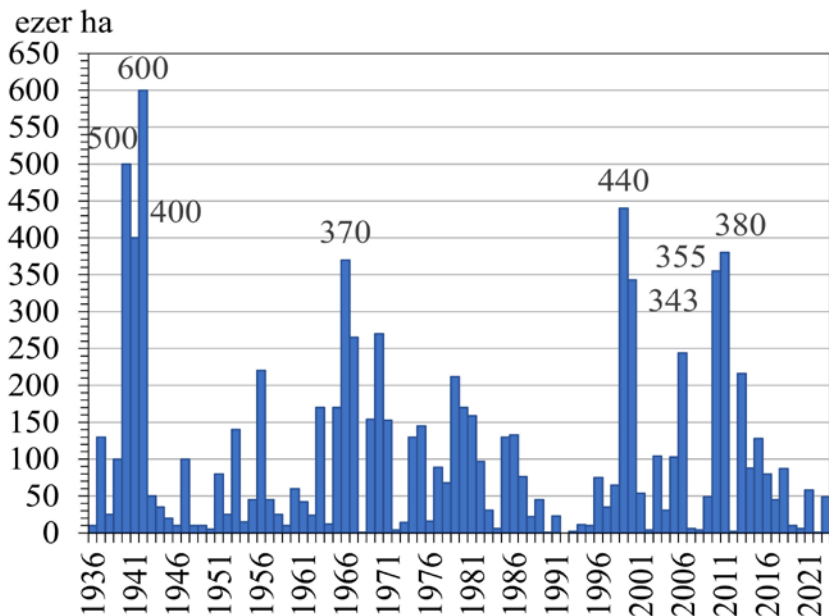
Magyarország területének közel egynegyede olyan mélyfekvésű, sík terület, amelyről természetes úton nem folyik le a víz. A síkvidéki vízrendezés célja az ezeken a területeken összegyülekező, hóolvadásból és esőkből, valamint feltörő talajvízből keletkező elöntésektől, a belvizektől való mentesítés.

A szakirodalomban a belvíznek mintegy félszáz definícióját ismerjük, amelyek egybehangzóak abban, hogy a belvíz a sík vidékek időszakos, de meglehetősen tartós és viszonylag nagy területre kiterjedő jelensége, sajátos vízfajtája, amely a csapadékvíz összegyülekezéséből, illetve a mindenkori talajvízből „táplálkozik”. Vízügyi műszaki szempontból belvíz alatt csak a nyílt vízborítást értjük, s ettől megkülönböztetjük a károsan túlnedvesedett területet, amelynek elsősorban a mezőgazdasági termelés szempontjából van jelentősége (Pálfi 2004; Somlyódy 2011).

Magyarország belvíz-veszélyeztetettsége világszerte egyedülálló. Hazánkban a belvíz által fenyegetett terület nagysága mintegy 44 000 km², az ország területének 47%-a. A szélsőségesen nagy belvizek Magyarországon 400-500 ezer ha-t veszélyeztetnek; az átlagos körülmények között 80-100 ezer ha kerül víz alá. A 20. században a leginkább belvizes időszaknak az 1940-42-es esztendőket tartja a vízügyi történetírás. 1940-41-ben – az ország mai területét figyelembe véve – 500 ezer, illetve 400 ezer ha volt a belvízborítás országos értéke. Az igen csapadékos periódus utolsó esztendejében, 1942-ben volt a legsúlyosabb helyzet: a vízzel borított legnagyobb terület 600 ezer ha-ra terjedt ki (6. ábra). Az ezt követő nyolc évtized alatt jól megfigyelhető a szélsőségesen nedves, illetve száraz évek, évcsoportok változása. Ebben az időszakban, 60 év alatt a belvízi elöntés ötször haladta meg a 200 ezer ha-t és csak egyetlen esetben, 1999-ben a 400 ezer ha-t. A 2000-2013 közötti 14 év alatt viszont ugyancsak öt olyan év volt (2000, 2006, 2010, 2011, 2013), amikor a belvízi elöntés ezt a 200 ezer ha-os értéket túllépte, annak ellenére, hogy a belvízrendszerek fejlesztése, az elvezető kapacitások bővítése folyamatos volt. 2014-től tartósabb száraz periódusban vagyunk. Az elmúlt évtizedben gyakorlatilag jelentősebb belvízvédkezés nem volt.

A vízkárelhárítási védekezések szervezésének és végrehajtásának tapasztalatai, innovációk az árvíz- és belvízvédlemben

Magyarország az árvizek és belvizek elleni védelemre világviszonylatban egyedül álló védelmi szervezettel, szakértelemmel és gyakorlottsággal rendelkezik. A közel 150 éves védelmi tapasztalatokat tartalmazó védelmi terveket az utóbbi évtizedben a legkorszerűbb térinformatikai módszerekkel dolgozták fel és aktualizálták. A folyamatos fenntartások mellett, az ütemezett fejlesztésekkel párhuzamosan, a magas szakmai színvonalú, folyamatosan fejlődő előrejelző rendszer, a 20 éve hatékonyan működő *vízkárelhárítási védekezési információs rendszer (VIR)*, a védelmi szakaszok és a védelmi osztagok szervezettségével igyekszik a legkisebb mértékre szorítani az árvízi károkat és biztosítja a nagyvizek biztonságos levezetését az ország árvízvédelmi rendszerében. A vízkárelhárítási védekezési munkák legfontosabb tapasztalatai az elmúlt negyedszázadban:



6. ábra. Belvízi elöntések Magyarországon (1936-2023).

- 2000, 2001, 2006, 2010, 2013: jelentős mértékű kihívás volt a vízügyi szolgáltatnak, minden korábbi árhullámnál, belvíznél nagyobb méretű, összetettebb védekezési munkákra volt szükség;
- csaknem 20 évig nem volt szükség az országban *árvízi veszélyhelyzet* kihirdetésére (legutóbb 1980-ban volt ilyen elrendelve), majd hat évben (1998, 2000, 2001, 2006, 2010, 2013) volt szükség erre; a belvízvédekezések történetében – eddig példátlanul – *rendkívüli belvízi veszélyhelyzetet is kihirdettek* (1998-99, 2000, 2010-2011);
- a rendkívüli árhullámok elleni védekezésben, a veszélyhelyzetekben például értékű nemzeti összefogás valósult meg: kormányzati szervek, vízügyi szolgálat, Magyar Honvédség, katasztrófavédelem, rendőrség, TEK, védelmi igazgatás rendszere, állampolgárok, civil szervezetek együttműködése;
- *rendkívüli vízszennyezések, környezeti katasztrófa-helyzetek* ellen is kellett védekezni: cianid-szennyezés (2000), vörösiszap-katasztrófa (2010);
- jelentős tartósság-növekedés volt a magas vízállások tartományában (itt eddig nem, vagy alig kaptak terhelést a védművek) (1998-2000, 2006, 2013); nőtt az altalajhibákból eredő kedvezőtlen talajmechanikai jelenségek száma (1998, 1999, 2000, 2001, 2006, 2013);

- olyan árvízi jelenségek (szivárgás, buzgár, töltéscsúszás stb.) jelentkeztek, amilyenek korábban – a kisebb tetőző vízállásoknál – nem voltak, ezért fokozottabb őrszolgálat, nagyobb létszám, gyakorlottabb szakszemélyzet kellett a védekezési munkákhoz;
- az önkormányzatoknál alkalmazott mobilgáták működési tapasztalatai kedvezőek voltak;
- nagyobb nyilvánosság előtt folytak a védekezési munkák, eredményes volt a közvélemény tájékoztatása.

A tárgyalt időszakban az árvíz- és belvízvédelemben számos újdonságot, *új műszaki megoldást, innovációt vezettek be*, alkalmaztak. A teljesség igénye nélkül ezekből néhány fontosabbat említünk:

- *1998-tól* teljesen megújult a védekezések hírközlési kiszolgálása: tömeges alkalmazták a mobil telefonokat; a védekezés-irányítás informatikai kiszolgálását folyamatosan fejlesztették, üzemszerűen alkalmazták a VIR-t; teljesen megújultak a meteorológiai és hidrológiai előrejelzési modellek.
- *2000-től* „üzemszerűen” alkalmazzák a helikopteres anyagszállítást, konténerzsákok rendszeresítésével; a hidrometeorológiai helyzetek elemzéséhez rendszeresen használnak űrfelvételeket.
- *2001 után* elkészült a VTT koncepciója és 2004-2022 között hét árapasztó tározó épült meg a Tisza mentén; kiterjedten alkalmazzák a távjelzés a vízrajzi észleléseknél, adattovábbításnál; kialakították és folyamatosan fejlesztették a magyar-ukrán közös távjelző rendszert;
- *2002-től* teljesen megújult a vízhozammérések technológiája és műszerparkja.
- *2006-tól* a védekezés irányításának támogatására rendszeresen alkalmazták a kétdimenziós előtétési modelleket (pl. 2006: Köröszug; 2010: tiszaroffi tározás, Sajó-, Hernád-, Bódva-menti területek; 2013: Győrújfalú, Margit-ta-szigeti öblözet stb.).
- *2010-től* új vízrajzi mérőhajót állítottak üzembe a Dunán.
- *2013-tól* rendszerbe állították a mobil falak alkalmazását a belterületi védekezéseknél (2013: Szentendre, majd Visegrád, Szeged, Szolnok stb.); a központi homokzsáktöltő telepek létrehozása és alkalmazása 2013. évi dunai védekezésnél eredményes volt, a védekezési anyagigények jobb kielégítése és a tartalékképzés miatt; rendszeressé vált a drónok alkalmazása légi megfigyelésre.

A jövőre vonatkozó javaslatok

Az árhullámok gyakorisága nő, az árvízszintek emelkednek, a vízhozam-növekedés tendenciája folytatódik, tartósság- és terhelés-növekedés várható, fokozódnak az árvizekre ható antropogén hatások. Az árvizeket kiváltó meteorológiai helyzeteknek az eddig előfordultaknál már egy kissé kedvezőtlenebb alakulása is rendkívüli következményekkel járhat. A Tisza és a Duna vízjárása még nem használt ki minden lehetőséget, amely a nagyvizeik statisztikai adataiból következhet (Somlyódy 2002, 2011; Szilávik 200a, 2000b).

A sorozatos rendkívüli árvizeket a vízügyi szolgálat alapvetően sikeresen ki-védte; sokrétű, hatalmas védekezési tapasztalat halmozódott fel. Ezek kiértékelésével, feldolgozásával meghatározták a *hazai árvízvédelmi fejlesztések kiemelt feladatait:*

- a Tisza árvízvédelmi rendszerének megújítása,
- a meglévő árvízvédelmi művek rekonstrukciója, kiépítése az előírt mértékadó árvízre (magasságra, tartósságra, magassági biztonságra). Ennek elemei a következők:
 - töltésmagasítás (a mértékadó árvízszint felett 0,5; 1,0; 1,5 m-rel),
 - az árvízvédelmi töltések keresztmetszeti méretének erősítése,
 - az altalaj gyengeségeinek megszüntetése,
 - a töltések szerkezeti hibáinak kijavítása,
 - a keresztező műtárgyak átépítése, valamint
 - az észlelőhálózat, hírközlés, gátórházak és védelmi központok fejlesztése, töltésburkolás a védekezés során a közlekedési feltételek javítása érdekében.

A jövőre vonatkozó gyakorlati teendők:

- a hidrometeorológiai folyamatok állandó értékelése;
- az előrejelzési időelőny növelése, pontosabb előrejelzés biztosítása az Országos Meteorológiai Szolgálatnál és az országos Vízjelző Szolgálatnál végrehajtandó összehangolt fejlesztéssel (az eszközök, módszerek, adatátvitel, adatszere területén);
- a hullámterek levezető képesség romlása miatt a nagyvízi mederkezelési tervek alkalmazása;
- a Dunán – helyhiány miatt – nincs lehetőség az árvizek tározással történő mérséklésére, a vízátervezetés sem reális; vizsgálni kell a vízkormányzási megoldások lehetőségeit;
- talajmechanikai mérési programot kell megvalósítani a magyarországi árvízvédelmi töltések átfogó értékelésére;

- A VTT tározóinál összehangolt üzemirányítási rendszer működik, működőképességét a jövőben is évente kell ellenőrizni védelmi gyakorlat keretében;
- ki kell építeni a veszélyeztetett települések alapvédeltségét az árvízi kockázatok csökkentése érdekében;
- az új védelmi eszközökre, eljárásokra megfelelő minősítési rendszert kell kialakítani;
- a digitalizált védelmi terveket, a korszerű informatikai háttér alkalmazását, a védekezés online eszközrendszerét – esetleges vízkár eseményeknél – a védekezésben folyamatosan alkalmazni kell; el kell készíteni a települési vízkárelhárítási tervek digitalizálását is;
- a védekezésben résztvevő szervezetek (vízügy, honvédség, katasztrófavédelem, rendőrség) eszközeinek és készleteinek közös felülvizsgálata és fejlesztése szükséges;
- be kell fejezni a – jelenleg kidolgozás alatt lévő – differenciált árvízvédelmi fejlesztési koncepciót.

Összefoglalás

- A hazánkat fenyegető ma még rendkívülinek tekintett árvizek a közeljövőben sűrűbben fognak előfordulni és magasabb szinten fognak lefolyni, amivel közvetlenül előidézik a sok víz okozta vízválságot, vagyis nő az árvíz-katasztrófák kockázata.
- Az árapasztó tározók létesítése kapcsán szembe kell nézni a tározóterek létrehozásának, a meder duzzasztásának mind ez ideig elodázott kérdéskörével és meg kell szüntetni az e kérdésben még mindig meglévő, érzelmeken alapuló tilalmakat. Folytatni kell a Vásárhelyi-terv Továbbfejlesztésének programját, el kell érni, hogy a tározók területén a mezőgazdasági érdekelttség felelős partnere legyen a tározók igénybevételének és a védekezési költségeket ne növelje a kártérítés.
- A fejlesztéssel közel egyenértékű, nemzetközileg is elismert hazai árvízvédekezési képességet meg kell őrizni, aminek letéteményesei vízügyi szakemberek, akiknek kinevelése és megtartása a ma nem versenyképes bérezés és előmeneteli gondok miatt szinte lehetetlen. Ezt alkalmi szervezeti átvezénylésekkel (mint tettük azt tömegesen pl. 2010-ben és 2013-ban) véglegesen nem lehet megoldani. Minden szervezetnek meg van a kijelölt és begyakorlott árvízvédekezési feladata. Az ország egyik része sem maradhat védelem nélkül.
- Az árvizek előrejelzése, levonulásuk ismerete, az árvízi fejlesztések megvalapozása és optimalizálása, a veszély közérthető érzékeltetése is megkö-

veteli az új módszerekkel és eszközökkel végzett szervezett és államilag irányított, kutatási és fejlesztési munkát. Ez annál inkább indokolt, mert a kormányzati szinten érzékelhetően elvárt innováció is csak ezen a bázison építkézhet. Szükség van egységes vízügyi kutatási központra, aminek legyen kiemelt feladata a hullámterek alkalmazkodási feltételeinek kutatása.

Mindezek jelentős mértékű kihívást jelentenek a vízügyi szolgálatnak. **Nap, mint nap szembesülünk az árvizek változásával és azokkal eredményesen szembe is nézünk.**

Irodalom

Gacsályi J. (2023): *A vízhiány-víz többlet kezelése a Felső-Tiszán. A Tisza-Túr tározó.* Vízügyi Közlemények 2. füzet, pp. 119-154.

Kőrösi Cs. (2018): *Sorsfordító a fejlődésben – 1. rész: Válaszút előtt a világ.* Hidrológiai Közlöny 4. szám, pp. 4-8.

Pálfi I. (2004): *Belvizek és aszályok Magyarországon.* Hidrológiai tanulmányok. KÖZDOK Kft., Bp.

Somlyódy L. (ed. 2002): *A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései.* Magyarország az ezredfordulón. MTA, Bp.

Somlyódy L. (ed. 2011): *Magyarország vízgazdálkodása – helyzetkép és stratégiai feladatok.* MTA Bp.

Szlávik L. (1998): *Árvizek szükségtározása.* Vízügyi Közlemények 1. füzet, pp. 21-66.

Szlávik L. (1999): *Gondolatok az árvízvédelem időszerű kérdéseiről.* HK 4. szám, pp. 241-260.

Szlávik L. (2000a): *Az árvízvédelmi biztonság elemzése.* MTA Stratégiai Kutatások. Magyarország vízgazdálkodási stratégiája az ezredforduló után. Bp.

Szlávik L. (2000b): *Magyarország árvízvédelmének stratégiai kérdései.* Vízügyi Közlemények 3-4. szám, pp. 553-594.

Szlávik L. (2004): *A Vásárhelyi-terv: árvízvédelem, terület- és vidékfejlesztés a Tisza mentén.* Mérnök Újság, március, pp.12-14.

Szlávik L. (ed. 2007): *A Duna és a Tisza szorításában.* A 2006. évi árvizek és belvizek krónikája. OVF Bp.

Szlávik L. (2013a): *Szembenézünk az árvizekkel.* A 2013. évi árvizek és belvizek krónikája. OVF Bp.

Szlávik L. (ed. 2013b): *A 2013. évi dunai árvíz.* Vízügyi Közlemények (különszám)

Szlávik L. (2014): *Kisvizek nagy vizei.* A 2010. évi árvizek és belvizek krónikája. OVF Bp.

Szlávik L. (ed. 2024): *Az egységes vízügyi szolgálat 70 éve.* Vízügyi Közlemények (különszám)

Szöllősi-Nagy A. (2018): *Sorsfordító a fejlődésben – 2. rész: Válaszút előtt a világ vízgazdálkodása.* Hidrológiai Közlöny 4. szám, pp. 9-16.

Váradi J. (2021): *Vízválságos Magyarország.* Vízügyi Közlemények 1. füzet, pp. 23-42.

VTT (2001): *A Vásárhelyi-terv Továbbfejlesztése. A fejlesztési koncepció-terv összefoglalója* Vízűkör 5. szám, pp. 4-5.

Bizonyosságok és bizonytalanságok Közép-Ázsia geopolitikai szerepének átalakulásánál

Turcsányi Károly

Nemzeti Közzolgálati Egyetem, Budapest

turcsanyi.karoly44@gmail.com

Bevezető gondolatok, érintettség a téma kapcsán

1980-ban jártam magánúton a Kaukázusban, közel egy hónapot töltöttünk ott, barátom feleségének az édesanyjánál. Személygépkocsikkal utaztunk, két európai márkával, egy Trabanttal és egy Wartburggal. Fáradságos, de gyönyörű út volt. A cári üdülőhelyek egyikén, Jeszentukiban volt a szülői ház, onnan utaztunk helyi buszjáratral két alkalommal az Elbruszhoz (hatósági tiltás ellenére), a környék üdülőhelyeit pedig helyközi vasúttal (elektricska) közlekedve jártuk be. Mesés hegylánc a Kaukázus, gyönyörű napsütésben és viharos, zord viszonyok között is alkalmunk volt ismerkedni vele. A hosszú buszozás alatt senkivel nem tudtunk kommunikálni, mert szinte mindenki más helyi nyelvet beszélt. A Kaukázus a népek hegye, több mint 30 különféle nemzetiség lakja.

Közép-Ázsiában 5 évvel később jártam, a moszkvai Magyar Kereskedelmi Kirendeltség csoportjához csatlakozva. Néhány hetet töltöttünk itt, bejárva olyan nevezetes városokat, mint Szamarkand, Híva, Taskent, Urgencs és Buhara. Valamennyi híres város gazdag középkori és újkor-kezdeti csodás építményekkel és múzeumi emlékekkel kápráztatott el minket. Megdöbbenő volt, mennyire ismeretlen volt mindez számunkra. Úgy gondolom, hogy az átlag európai embernek még ma is fehér folt ez a hatalmas térség. Szamarkandban egy múzeumlátogatás során kerültem kapcsolatba egy fiatal kutatóval, aki egy régi festménynél nem akart válaszolni kérdésemre a csoport előtt, hogy azon milyen írással szerepel szöveg. De intett, hogy menjek hozzá vissza. Akkor mondta el, hogy az egy betiltott nyelven (üzbégül) íródott, ami itt tabu téma.

Világunk változásai tekintetében forró időszakot élünk, a hatalmi erőviszonyok beláthatóan változóban vannak. Az USA jelenleg még meghatározó ereje földünknek, de köztudottan új erőtlől duzzad Kína, az Orosz Föderáció óriási elrettentő atomtőerővel rendelkezik, és Európa elbizonytalanodni látszik a nagyhatalmak erőterében. Félelmetes néha, hogyan polarizálódnak Nyugatra és Keletre a világ meghatározó nemzetei. Ilyen történelmi időszakban kapták meg a lehetőséget önmaguk újra definiálására Közép-Ázsia nemzetei. Ettől rendkívüli ez a térség, és csábító belegondolni abba, milyen szerep várhat rá a jövőben.

Mindezek szerepet játszottak abban, hogy a régió érdeklődésem homlokterébe került. Nem váltam a kérdéskör mély ismerőjévé, de több irányból is igyekeztem megismerni Közép-Ázsia történetét, mai helyzetét, és képet törekedtem

alkotni arról, milyen jövő állhat a térség előtt. Egy távlatos, vázlatos koncepció kialakításához használható eszköznek tűnt a geopolitika, amelyet ezért vizsgálódásom "szemüvegeként" használtam fel. Felhasználtam ehhez neves kutatók publikációit, okleveles közlekedésmérnöki ismereteimet, tapasztalataimat a hadtudomány területén, és azokat a benyomásokat, amelyeket látogatásaim során szereztem. Mindezekhez nem voltam egyedül, segítségemre voltak történész és szakmérnök szerzőtársaim, akikkel közös cikkekben részletesebben is foglalkoztunk a térséggel.

A GEOPOLITIKA ÉS KÉT MA IS HATÓ ELMÉLETE

A geopolitika alapvetően az állam térszerveződésének bemutatására törekszik: „...a földrajzi terek feletti uralomról alkotott elmélet, illetve földrajzi entitások kontrollja feletti küzdelem egy globális dimenzióban.”¹ A politikai jelenségeket a földrajzi determinizmus és számos további tényező (földrajzi fekvés, természeti adottságok, államterületi kiterjedés, politikai, diplomáciai, társadalmi, gazdasági, etnikai és katonai viszonyok, stratégiai fontosságú övezetek, erőforrások elhelyezkedése és birtoklása, érdekszférák kialakulása, szerepe és azok változásai stb.) függvényében vizsgálja.

Egy másik megközelítésben a geopolitika/geostratégia az állam (államcsoport) térbeli szerveződését tanulmányozza figyelembe véve az államon belüli (népesség, nyersanyagforrások, ipari kapacitás, kereskedelem), valamint azon kívüli tényezőket (azonosított fenyegetettség, szövetségesek). „1990 után... a távközlési és közlekedési technológiák fejlődése révén, valamint a fokozódó globalizáció nyomán a geopolitikai kutatások is egyre inkább gazdasági tartalmat nyertek.”²

A tengeri geostratégia és Mahan elmélete

A nagyhatalmak működésének egyik leglényegesebb hadászati jellemzője az erő kivetítésének képessége távoli térségekbe, annak érdekében, hogy politikai érdekeiket globális szinten is képviselni tudják. E tekintetben kiemelkedő fontosságú a tengeri hatalom birtoklása, melynek nemcsak katonai, de gazdasági, kereskedelmi aspektusai is meghatározóak. A geostratégiával foglalkozó szakirodalom egy jelentős irányzata magasabb rendűként, elérendő geostratégiai pozícióként jelöli meg a tengeri pozíciót.

Alfred Thayer Mahan admirális 1890-ben megjelentetett a *„Tengeri erők szerepe a történelemben 1660 és 1782 között”* című könyve volt az első átfogó, modern tudományos munka a tengeri hatalomról. Megállapításai napjainkban is komoly figyelmet érdemelnek.

¹ Colin Flint: Introduction to Geopolitics. Routledge, 2016. ISBN 9781138192164 334. p.

² Gazdag Ferenc (szerk.): Geopolitika és biztonság, Zrínyi Kiadó, Budapest, 2006, p. 5.

Elsőként kategorizálta az államokat geostratégiai szempontok szerint, a tengerekhez való hozzáférés (kikötők száma, partvonal hossza és tagoltsága, az ország alakja, mérete, tengerhez viszonyított helyzete) alapján. Szerinte a történelemben a legjelentősebb szerepet Európa és Ázsia hajózó népei, valamint a szintén tengeri kapcsolattal rendelkező, Európától függetlenül is cselekedni képes szigetek (Anglia, Japán, USA) játszották. Állította, hogy a tenger óriási lehetőségeket kínál az egyes államok számára, hiszen a vízi szállítás mindig előnyben lesz a szárazföldivel szemben, mivel *„a vízi úton történő utazás és áruszállítás mindig könnyebb és olcsóbb volt a szárazföldinél.”*³ Elsődleges, előnyös geostratégiai pozícióként kezelte tehát a tengeri, míg másodlagosként a kontinentális elhelyezkedést.

Mahan szerint a tengeri uralom az az állapot, amikor egy állam – hadi és kereskedelmi célra egyaránt – szabadon használja a világ tengert, ugyanakkor lehetetlenné teszi annak használatát ellenségei számára.⁴

A jelenlegi orosz-ukrán háború egyik fő stratégiai motívuma a Krím-félsziget orosz megszállása és megtartása, ami arra utal, hogy a tengeri geopolitika modellje ma is fontos szerepet játszik a nagyhatalmi érdekek érvényesítési törekvéseiben.

A kontinentális geostratégia és Mackinder geopolitika-elmélete

Sir John Halford Mackinder a brit birodalom érdekeinek védelmében a földrajz, a történelem, valamint az európai és az ázsiai civilizációk összekapcsolásával és a közöttük lévő összefüggések bemutatásával dolgozta ki a kulcsövezetről, a magterületről szóló elméletét. „A földrajz a történelem kulcsa” címen 1904-ben megtartott előadásában fektette le elméletét, amely szerint Oroszország olyan magterület (*Heartland*), amely középen helyezkedik el Nyugat és Kelet, Európa és Ázsia között. Két fő gondolatát a tengeri és szárazföldi haderők versenyének elemzése képezte a történelem során, illetve nála kapott legnagyobb hangsúlyt a *mobilitás* kérdése.

³ Gazdag Ferenc (szerk): Geopolitika és biztonság. Zrínyi, Budapest, 2006. 25. o. illetve Mahan, Alfred Thayer: The Influence of Seapower upon History 1660-1783; Dower Publications, Inc. New York, 1987. 25. o.

⁴ Kaiser Ferenc: A blokád elmélete és gyakorlata a tengeri hadviselésben. Aetas, 2007. évi 4. sz.

MACKINDER KORSZAKOLÁSA URALKODÓ SZÁLLÍTÁSI-KÖZLEKEDÉSI
MÓD SZERINT

Történelmi kor	Uralkodó közlekedési-szállítási eszköz	Főlényben lévő hatalom geostratégiai pozíciója	Főlényben lévő hatalom által uralt geostratégiai nagytérség
Pre-Kolumbiánus kor (- 1492)	ló, teve	Kontinentális hatalom (lovashadseregekkel)	Kulcsövezet (Heartland)
Kolumbiánus kor (1492-1916)	vitórlás hajó	Tengeri hatalom (flottákkal)	Külső peremív (Világsziget)
Post-Kolumbiánus kor (1916-)	gőzhajó, vasút, gépjármű, repülőgép	Azonos erejű a kontinentális és a tengeri hatalom	A teljes, globális földrajzi tér (magterület, köztes- és külső gyűrű)

1. sz. táblázat

Mackinder elmélete alapján a világ három nagy térségre osztható. Az *elsőt, a magterületet* (*pivot area, heartland*), nagyjából Oroszország képezi. Erre a területre hosszú távon igaz lehet, hogy *soha senki nem tudta elfoglalni*.⁵ Ez alapvetően szárazföldi terület, ahol tengeri hatalom nem tudja megvetni a lábát. A *magterületet egy belső gyűrű* övezi, mely magában foglalja az eurázsiai kontinens többi, tengerparttal rendelkező részét is. Ez a terület a magterület és a tengerek felől is elfoglalható, befolyásolható. A *külső gyűrű* Amerika, Afrika és Ausztrália kontinenseiből és a Brit-szigetektől áll. Ezt a területet, az ún. „világszigetet”, a tengeri hatalmak népesítették be, illetve gyarmatosították. Mindezek alapján *ütközőzónának* a belső gyűrű tekinthető; ez a *tengeri és szárazföldi hatalmak* lehetséges összeütközéseinek színtere.⁶

Mackinder a nemzetközi viszonyok alakulása szempontjából döntő fontosságúnak tartotta az államok földrajzi elhelyezkedését, és a technikai fejlődés által is befolyásolt földrajzi terek és sajátos jellemzőkkel rendelkező övezetek a szerepét. Idézett előadásában azt írja, hogy a kulcsövezet központi állama, a

⁵ Pap, Norbert - Reményi, Péter - Végh, Andor - Kitanics, Máté - Vati, Tamás: Geopolitikai szótár. PTE, Pévcs. http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/foldrajz7/geopolitikai_foldrajz/www/ch02.html

⁶ Szilágyi István: A földrajz a történelem kulcsa - 150 évvel ezelőtt született Sir Halford J. Mackinder, a geopolitika klasszikusa. Magyar Tudomány 2011. évi 11. szám.

magterület (*Heartland*) azért Oroszország, mert ha az egyesül a perifériák kontinentális hatalmainak valamelyikével (Németországgal vagy Kínával) gazdaságilag és földrajzilag is képessé válik a Világ-sziget ellenőrzésére és *olyan flottát építésére, amellyel legyőzheti a tengeri hatalmakat* (hasonló történet, amikor Nagy Katalin birtokba vette Ukrajnát és a Krímet, majd flottát épített a Fekete-tengeren). Mackinder kulcsövezet-konceptiója a szárazföldi és a tengeri hatalom vetélkedése tekintetében *meghatározó jelentőségre tett szert* a nemzetközi viszonyok alakítása folyamatában is. (Lásd Trianon)

A tengeri hatalmak számára ezért veszélyes egy „Euro-Ázsiai Világsziget” létrejötte, mert egy ilyen hatalom egyfelől kijut a tengerekre, másfelől erőforrásai megelőzik a tengeri hatalmakét, ami hosszú távon tengeri hegemoniához vezethet (elméletileg lehetséges Európa, Oroszország és Kína egyesülési folyamata).

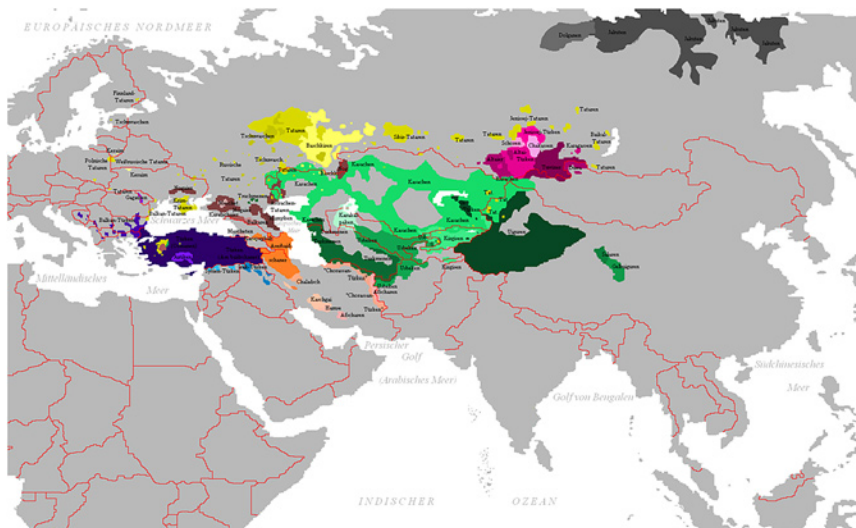
KÖZÉP-ÁZSIA, MINT GEOPOLITIKAI TÉNYEZŐ

Tanulmányunkban Közép-Ázsia elnevezés alatt a döntően türk népek lakta *Kazahsztán, Kirgizisztán, Tádzsikisztán, Türkmenisztán és Üzbegisztán* területét értjük, a Kaszpi-tengertől a Pamír és a Tien-san hegyláncáig. A téma illetve a térség etnikai szempontú, kiterjedtebb vizsgálata szempontjából érdemes gondolatilag az előzőekhez kapcsolni Törökországot, Azerbajdzsánt és Kína Hszincsiang tartományát is.

A 18. században a térség magját Turkesztánnak nevezték. A kifejezés a közép-ázsiai völgyekre vonatkozott, amelyek a Syr-Darja és Amu-Darja folyók között helyezkedtek el, ahol az ókori török népek letelepedtek. Ma ez a geopolitikai kifejezés a török nyelvű emberek által lakott közép-ázsiai területekre vonatkozik. Turkesztán nyugati részét a XIX. században elfoglalta az Orosz Birodalom, ez lett Nyugat-Turkesztán vagy orosz Turkesztán. A Kelet-Turkesztán vagy kínai Turkesztán elnevezést nyugaton, valamint az ujjur szeparatisták és a pánturkisták használják, jellemzően Hszincsiang földrajzi terület megjelölésére. A Közép-Ázsiát alkotókként megnevezett mai államok a Szovjetunió 1991-s felbomlásával jöttek létre.

A magyar szakirodalom a térségre a Belső Ázsia kifejezést is használja.⁷

⁷ Bernek Ágnes: Közép- és Kelet-Európa a 21. század geopolitikai/geoökonómiai stratégiáiban. Akadémiai Kiadó Zrt., Budapest, 2018. 55. o.



1. sz. ábra. A türk népek elhelyezkedése (Az ábrán látható, hogy e népek az Altaj hegység térségéből Anatóliáig, illetve Kubánig és a Krímig vándoroltak).

Közép-Ázsia területének uralkodó felszíni formája a *síkság*, ami a térség északi területein *sztyepp* formájában, délen pedig *félsivatagként* jelenik meg. Kelet felé a Tarim-medence irányába terjed ki a terület Kína türkök lakta Hszincsiang (Xinjiang) autonóm tartományára, míg nyugat felé délnyugaton Törökország, északnyugaton a Kaukázus-előtértől a Volgográdi szűkületig és a dél-ukrajnai sztyeppéig terjedő síkság (kalmük, csuvas, baskír és tatár népe sséggel) csatlakozik Közép-Ázsiához.⁸ Emellett Afganisztán és Irán északkeleti része is kapcsolódnak a közép-ázsiai folyamatokhoz.⁹ Északi határterülete földrajzilag nem definiált élesen, ám a Torgaj-kapu (fennsík, amely a Turáni-alföldet és a Nyugat-szibériai síkságot köti össze) és a Dél-Urál, illetve a Volgográdi körzet területeinek etnikai összetétele a régió politikai vizsgálata szempontjából szintén figyelmet érdemel.

⁸ Azt a felfogást követjük, amely szerint csak a Dél-Ukrán sztyeppeövezet csatlakozik Közép-Ázsiához, földrajzi alapon kissé elhatárolódva attól a nézettől, amely szerint egyes kutatók – egyfajta egyszerűsítés mentén - a teljes Ukrainát Közép-Ázsiához sorolták geopolitikai szempontból. Bernek Ágnes: Közép- és Kelet-Európa a 21. század geopolitikai/geoökonómiai stratégiáiban. Akadémiai Kiadó Zrt., Budapest, 2018. XX. térképmelléklet.

⁹ Makkay Lilla: Élénkülő forgalom a Selyemúton, avagy a „Nagy Játzsma” újabb fejezete Közép-Ázsiában Külügyi Szemle, 2009 (8. évfolyam) 1. szám. 145, 148

Közép-Ázsia klímája rendkívül száraz – helyenként sivatagos (pl. Takla-Ma-kán), kivétel a Fergána-völgy, amelyet gleccserek olvadékvizéből képződött folyók táplálnak. A Turáni-síkvidék déli peremvidékének oázis-lánca kapcsolódik a tőlük délre magasodó hegyek – Tien-san, Hindukus és Kopet-dag – nyúlványaihoz. A hegyek lábánál felemelkedésre kényszerülnek a légtömegek, és így belőlük ott csapadék hullik.

A BŐVÍTETT ÉRTELMEZÉSŰ KÖZÉP-ÁZSIAI TÉRSÉG ORSZÁGAINAK NÉHÁNY JELLEMZŐJE¹⁰

1. sz. táblázat

Ország	Terület (1000 km ²)	Lakosság (millió fő)	Haderő (fő)	GDP (milliárd USD)
Törökország	780	85	1 054 000	819
Kazahsztán	2725	19	60 000	55,2
Üzbegisztán	449	34,5	48 000	54,5
Azerbajdzsán	86	10,1	126 400	13,8
Türkmenisztán	488	6	33 000	13,1
Tádzsikisztán	143	10	8800	8,5
Kirgizisztán	200	6,7	8500	8,4
Ujgur Autonómia, Hszicsiang (Kína)	1664	25,8	-	-

A geostratégiai szakirodalom egy része az ezredforduló után „új” geostratégiai nagytérseggként definiálja Közép-Ázsiát, ami etnikai hovatartozását tekintve lényegében a türk térség.

A közép-ázsiai térség legfontosabb geopolitikai jellemzői:

- alacsony népsűrűség;
- nincs tengerpartja (kivéve a Fekete-tengert), viszont beltengere a Kaszpi-tenger;
- jelentős urán, földgáz és kőolajkincset valamint más ásványkincseket tartalmaz;
- a korábbi „Selyemút” nyomvonalán a legrövidebb szállítási útvonal – első sorban vasútvonal – itt húzódhat a jövőben Kína és Európa között.

¹⁰ Harangozó Dániel – Wagner Péter: Állam és hadsereg a posztsovjet Közép-Ázsiában: A fegyveres erők politikai és társadalmi szerepe. Politikatudományi Szemle 26 : 4 pp. 133-152. , 20 p. (2017) illetve Zbigniew Brzezinski: A nagy sakktábla - Amerika világhéghőse és geopolitikai feladatai. Antall József Tudásközpont, Budapest, 2017. 181. o.

A geopolitikában klasszikus „Heartland modell” hangsúlyozta Eurázsia belső kontinentális területein létrehozható központi elhelyezkedésű geostratégiai nagytérség kulcsszerepét a világ gazdaságában, a világpolitikában, a világhatalmi pozíció megszerzésében. Jelenleg a szakirodalomban több helyen felmerül, hogy ez a térség a türk népeket tömörítő Közép-Ázsia lehet, az ujjur területektől Törökorszáig és Kazahsztán nyugati határáig, feltéve elsősorban, hogy létrejönnek azok a logisztikai útvonalak, amelyek ezen a területen keresztül összekötik Kínát Európával. Közép-Ázsia így Oroszország geostratégiai ellensúlyát képezheti. A geostratégiai távlatok tekintetében ez azt jelenti, hogy bekövetkezne a magterület (Heartland) elmozdulása Eurázsia közepe irányába, illetve az Európa-Kína tengely irányába. Lényegében egy új geostratégiai nagytérség létrejöttének lehetőségéről és annak a világ geostratégiai átrendeződését eredményezhető hatásairól beszélünk.

Az orosz-ukrán háború számos szállal kötődik a Közép-Ázsia államaiban zajló geopolitikai, energetikai és logisztikai kérdésekhez. „A régió körüli nagy geopolitikai játszma igazi tétje, hogy milyen mértékben lesz képes megőrizni Moszkva a szállítási útvonalak, ezen keresztül az energiatartalékok feletti ellenőrzést.”¹¹ Képes-e Oroszország fenntartani a centralizált – Moszkván keresztül megvalósuló – vasúti szállításokat, vagy egy rövidebb, kiterő nélküli útvonal jön létre a türk Közép-Ázsián át?

Több generális jelentőségű kérdés is felvethető a témakörrel kapcsolatban. Az Európa-Kína vasút, mint infrastrukturális fejlesztés hogyan hatna Közép-Ázsia gazdaságfejlődésére, politikai folyamataira? Lehet-e a jövőben autark geostratégiai nagytérség Közép-Ázsia? Milyenek az alábbi tényezők: ásványkincsek és kitermelésük, illetve szállításuk, etnikai és kulturális viszonyok, a térség integrációs vagy dezintegrációs folyamatai és az autonómiatörekvések, a katonai képességek és a szövetségi viszonyok, kiemelt infrastruktúrák? stb. – amelyek ma globális szinten is fokozott érdeklődésre számot tartó kérdések.

Hipotézisünk szerint a megépítendő transzkontinentális vasút vonal nemcsak Európa és Kína kereskedelme és gazdaságfejlődése – ezáltal a globális világ gazdaság szintjén fontos tényező, hanem egyúttal Közép-Ázsia szempontjából is meghatározó, mivel egy olyan jelenleg üres (korábban a Selyemút miatt egy időszakban erős) geostratégiai nagytérség (újra) felemelkedését eredményezheti, amely talán a világ geostratégiai centrumát képező magterületté válhat. E folyamatra a nagyhatalmi Kína katonai ütközőállam-övezeteként, a világ jelentős földgáz-beszállítójaként, illetve a világ egyik legfontosabb vasúti hálózatának

¹¹ Stier Gábor A BIRODALOM FELÉRTÉKELŐDŐ HÁTSÓ UDVARA Oroszország komoly erőfeszítések árán őrzi közép-ázsiai befolyását. Pro Minoritate, 2006 (1-4. szám) 2006 / 4. szám 48. o.

birtokosaként kerülhet sor a közép-ázsiai államok esetében, de valószínűleg csak akkor, ha a türk államok Törökországtól az Ujgur Autonóm Területig egyfajta államszövetségbe tömörülnek.¹²

A jövő jelentős geopolitikai/geostratégiai kérdései tehát:

- Lesz-e türk integráció – amely egy „új” geopolitikai nagytérség létrejöttéhez vezethet?
- Jelenleg Oroszország a Heartland, kerülhet-e a jövőben a Heartland szerepébe Közép-Ázsia?
- Mikor lesz a transz-szibériainál hatékonyabb Európa-Kína vasúti összeköttetés?
- Vezethet majd ez a vasútvonal Ukrajnán keresztül?

Ezekben a kérdésekben törekszünk vizsgálódni, amely – az orosz-ukrán háború sajnos még aktuális témája mentén – a háború kirobbanása körüli geopolitikai okokat is érinti.

Hogyan reagál minderre a tudomány?

2015 májusában a kínai Ningbo városában hozták létre az Új Selyemút Gazdasági Övezet Kutatóközpontot, mely célzott kutatásokkal támogatja a Belt and Road Initiative /BRI/ (övezet és út kezdeményezés) nagyszabású kínai projekt hatékony megvalósítását. Figyelmet érdemlő tény, hogy Nyugaton eközben Kínának az „új selyemútként” is aposztrofált infrastrukturális beruházási megaprojektjéről írott tudományos publikációk száma „a 2014-es 492-ről egy év alatt 8400-ra szökött fel.”¹³ Jelen tanulmánynak egyfajta hadtudományi aktualitást is ad, hogy Közép-Ázsia türk államai 2024-ben létrehozta egy új katonai szövetséget – a Turáni hadsereget.¹⁴

¹² Jelen állás szerint a türk államokat tömörítő Türk Államok Szervezete tagjai között ugyan nem elhanyagolható együttműködés valósul meg a gazdaság, a kereskedelmi és a fejlesztések területén, ugyanakkor politikai szinten csupán informatív entitásként működik. A szervezetnek hivatalosan nincs olyan deklarált célja, hogy az együttműködést konföderatív formában tovább fejlesszék, ugyanakkor a védelmi és biztonsági kérdések terén is folytatnak politikai egyeztetéseket. Vö. Krzyżanowska, Zuzanna: On the trail of the grey wolf: pan-Turkism in Turkey's foreign policy. OSW Commentary, Number 595, 2024, 5. o. <https://www.osw.waw.pl/sites/default/files/OSW%20Commentary%20595.pdf> (Letöltés időpontja: 2024. 08. 01.)

¹³ Daniel Yergin: Változó világtérkép - Energia, klíma és a nemzetek közti konfliktusok. MCC Press Kft., Budapest, 2023. 192. o.

¹⁴ Central Asia's Combined 'Army of Turan': Could a Hypothesis Become a Reality? <https://timesca.com/central-asias-combined-army-of-turan-could-a-hypothesis-ever-become-a-reality/> (Letöltve: 2024.05.24.) illetve Turan Army vs European Union Military Power Comparison 2024 <https://www.youtube.com/watch?v=cm6X0YqyHQY> (Letöltve: 2024.05.24.)

TÖRTÉNELMI ELŐZMÉNYEK: A „SELYEMÚT” ÉS A „NAGY JÁTSZMA” A korabeli „Selyemút”

A középkorban az európai (velencei, genovai) kereskedők alternatív kereskedelmi útvonalak után kezdtek kutatni, hogy ezzel is függetlenebbé válhassanak a nagyobb haszon reményében. Emellett amikor a selyemhernyó gubójának felfedezése nyomán Kínában meghatározóvá vált a selyemkészítés, a kínai kereskedők útnak indultak, hogy távolabbi vidékeken is eladják a termékeiket.

A „Selyemút” működtetésében fontos szerepet játszott a vízellátást biztosító oáziscivilizációk láncolata, melyen a kereskedőkaravánok végig haladva megpihenhettek. Ugyanis a Föld legszárazabb területei közé tartoznak a mai Türkmenisztán csaknem egész területét elfoglaló Kara-kum (Fekete homok) és az Üzbegisztán nyugati részén elterülő Kizil-kum (Vörös homok) sivatagok. A turkesztáni oáziscivilizáció övezet elsősorban a valamikori kánságok fővárosaiból – Urgencs, Fergána, Kokand, Merv, Khíva, Buhara, Szamarkand, Taskent – állt.

A két fő útvonal Kínából a Fergana völgyön át vezetett Szamarkandba, vagy a Tien-San hegység vonulatain át Taskentbe. A két ág Buharánál találkozott, majd innen tartott tovább nyugati irányban Perzsia és a Mediterráneum, délre Kabulon át India illetve északon a Volga folyó völgye felé.

A 8000 km hosszú korabeli Selyemút hálózata tehát az ún. „oázis-fűzérre” épült.



2. sz. ábra. A Selyemút legfontosabb központi szakasza, melynek északi és déli elágazásai is voltak¹⁵

¹⁵<http://www.geopolitika.hu/hu/2016/06/10/terkepek-a-selyemutrol/>

A „Nagy játszma”

Történelmi előzmény, hogy Nagy Péter 1723-ra elfoglalta Dagesztán területét. Ezzel a *Kaszipi-tenger medencéjének északi része* orosz ellenőrzés alá került. A Szibériából dél-felé nyomuló oroszok a XVIII. században elérték a sztyeppövezet északi határát, 1750-re pedig már *erődök láncolata* húzódott a *Kaszipi-tenger északi partjánál* fekvő Gurev-től, mintegy 2500 kilométeren át egészen az *Altáj hegységig*¹⁶. Az erődítmény-láncre támaszkodva megkezdődhetett Közép-Ázsia orosz katonai birtokbavétele.

Oroszország számára könnyű zsákmányul kínálkoztak a gyenge haderővel rendelkező kánságok, s 1868-ban Buharát, 1873-ban Hívát, 1876-ban pedig Kokandot csatolták a birodalomhoz, majd Sándor uralkodásának végén kiterjesztették uralmukat a Perzsiával és Afganisztánnal határos Türkmeníára (Türkmenisztánra) is. A XIX. század derekán a cári birodalom Szibériából kiindulva a kazah sztyeppékhez hasonlóan a Tien-san hegység *kirgiz* nomádok által benépesített vidékét is bekebelezte.

Ez a lassan a délen fekvő Merv oázist is elérő terjeszkedés érezhetően riasztotta Angliát, amely féltette indiai birtokait.

A 18. századtól intenzíven zajló *közép-ázsiai orosz terjeszkedés* érdekszféraközlésekhez vezetett Nagy-Britanniával. Ez volt a „Nagy játszma”, amely a Brit és az Orosz Birodalom között Közép-Ázsia ellenőrzéséért folytatott 19-20. századi, egy évszázadon át zajlott geopolitikai vetélkedés elnevezése. A nagy játszma brit szakasza az 1813-as orosz–perzsa megállapodástól, az 1917-es októberi orosz forradalmat követő antant intervenciós háborúig és a polgárháborúig zajlott. Brit szempontból az oroszok közép-ázsiai terjeszkedése fenyegetést jelentett Brit Indiára nézve.

A KÖZÉP-ÁZSIAI GEOPOLITIKAI FOLYAMATOK IDEOLÓGIAI HÁTTERE: A PÁNTÜRKIZMUS ÉS AZ EURÁZSIANIZMUS

Közép-Ázsia népeinek kohéziója, végső soron egy egységes geostratégiai nagytériség létrejötte – különféle geostratégiai, geopolitikai, diplomáciai, gazdasági, katonai stb. feltételek mellett – jelentős mértékben függ attól, hogy a mintegy 200 milliós türk népesség egy tömbben élő része vall-e olyan közös, meghatározó erejű ideológiát, amely Isztambultól Hszincsiangig összekovácsolhatja ezt a közösséget. Ebben meghatározó szerepet játszik:

- a nyelvi közösség (türk nyelv);
- a vallási közösség (iszlám és a szúfizmus, amely az iszlám misztikus ága);
- az ideológiai közösség (pántürkizmus, eurázsianizmus).

¹⁶Ennek az erődrendszernek voltak fontosabb láncszemei Omszk (alapítva: 1716), Szemipalatyinszk (1718) valamint az 1735-ben alapított Orenburg.

Közép-Ázsiában jellemző „*az éles etnikai-vallási-kulturális határvonalak hiánya*, amely körülmény a külső hatalmak figyelme szempontjából is fontos tényező. Az Afganisztánban élő üzbégek és tádzsikok, a Kínában élő kazahok, a Kazahsztánban élő oroszok, üzbégek, ujugurok, a Kirgizisztánban élő üzbégek, oroszok, dungánok (moszlim vallású kínaiak), a tádzsikisztáni üzbégek, az üzbegisztáni oroszok, tádzsikok és kazahok, a türkménisztáni üzbégek közeli kultúrák képviselői... Az érintett országok az utóbbi másfél évtizedben sokat tettek... az iráni nyelvű Tádzsikisztán kivételével türk nyelvűk helyzetének megerősítésére.”¹⁷

A sztyeppe-i nomadizáló türk népek kultúrájában *kiemelt helyen szerepel a törzs és a nép, az eredet tisztelete*. A Türk Birodalom¹⁸ korábbi létezése erősen él történeti tudatukban. Erre alapozva kezdték el politikusok, történészek és hittérítők a pántürk gondolatiság és ideológia megfogalmazását már a 19. század végén. A pántürkizmus: a türk népek integrációjának (és az orosz-ellenes nemzeti ellenállásnak) az ideológiája – ami összefonódott az iszlámmal is. Ez az integráló jellegű türk „nemzeti” ideológia a 20. század 20-as, 30-as éveiben modern tömeg-ideológiává alakult.

A nacionalista pántürkizmus fontos eleme az iszlám. „Az iszlám nem csupán közös vallás, de sajátos módon *a szlávokkal szemben a tadzsik, kazah, türkmén, kirgiz stb. mívoltot kifejező »nemzeti« tényező egyik fontos eleme is*. ... amelynek Törökország az első számú külső támogatója. ... Teljességgel nem zárható ki még egy nagy összefüggő iszlám állam kialakulása sem ... Egy ilyen iszlám állam létrejötté a világ geopolitikai újrendeződését jelentené.”¹⁹

A nacionalista »pántörök« bélyeg elkerülésére a szofisztikáltabb eurázsianizmus mérsékeltebb ideológiája adott lehetőséget. Legtöbb támogatója a nacionalista, nemzeti radikális és pántörök csoportokból került ki. Örököse az *egy közös török államot vagy legalábbis a különböző közép-ázsiai és kaukázusi török népek közötti szoros együttműködést képzelő felfogásoknak, és széles társadalmi bázissal rendelkezik*. Zbigniew Brzezinski is az eurázsianizmus nemzetközi jellegét jelöli meg annak okaként, hogy a türk népek e nézetrendszeret vallják magukénak, miután ez nemzetek feletti eszme.²⁰ A pántürkizmus tehát a türk

¹⁷ Makkay Lilla: Élénkülő forgalom a Selyemúton, avagy a „Nagy Játszma” újabb fejezete Közép-Ázsiában Külügyi Szemle, 2009 (8. évfolyam) 1. szám. 145, 148

¹⁸ Az első türk kaganátus a 6. században jött létre, és átfogta egész Közép-Ázsiát és a mai Mongóliát is. A türkök két évszázadon át fennálló birodalma meghatározó volt Közép-Ázsia történetében.

¹⁹ Rostoványi Zsolt: Közép-Ázsia: Pániszlamizmus vagy pántürkizmus? Beszélő, 2016. évi 4. évfolyam, 7. szám.

²⁰ „Mindezt meggyőzően fogalmazta meg Ny. Sz. Trubeckoj herceg, az Eurázsia-elmélet egyik vezető képviselője, aki azt írta: Oroszország nem lesz többé az európai civilizáció torz tükörképe ... amikor ismét önmaga lesz: Oroszország-Eurázsia, Dzsingisz kán hatalmas örökségének tudatos várományosa és hordozója.” Zbigniew Brzezinski: A nagy sakktábla - Amerika világhatalma és geopolitikai feladatai. Antall József Tudásközpont, Budapest, 2017. 158-160. o.

geopolitikai, geostratégiai nézetrendszer konkrét megjelenési formája, melynek *diplomatikusan megfogalmazott változata az eurázsianizmus*, pontosabban az eurázsianizmus türk nemzeti szempontok szerint alkalmazott változata.

TÜRK VESZTESÉGEK 1916-1937 KÖZÖTT A FELKELÉSEK LEVERÉSE ÉS A MEGTORLÁSOK KÖVETKEZTÉBEN²¹

2. sz. táblázat

	Halottak	Menekültek
1916-os türk felkelés leverése	270 000+700 000	Több százezer (Kínába és Afganisztánba)
1921-22-es „gabonahiány”	2 000 000	-
1929-1934 kolhozosítás	1 500 000	2 800 000
Baszmacsok ²² elleni hadjárat Afganisztánban 1930-1934	100 000	-
Baszmacsok elleni hadjárat Hszincsiangban 1937	100 000	-
Összesen	4 700 000	3 000 000

A felkelések leverése és a megtorlások során elszenvedett veszteségek a türk népek oroszellenességének és a pántürkizmus elterjedésének a kiváltójává váltak.

A VASÚT GEOPOLITIKÁBAN BETÖLTÖTT TÉRSÉGI SZEREPE, VASÚTVONALAK KIÉPÍTÉSE KÖZÉP-ÁZSIÁBAN A 20. SZÁZAD ELEJÉIG

A vasút jelentős szerepet játszott az újkori civilizáció fejlődésében. Azokban a térségekben, ahol megjelent a vasút, fejlődni kezdett a regionális gazdaság is. Nemcsak a vasútépítésnek van geostratégiai meghatározó hatása, hanem a vasútépítés akadályozásának is.

²¹ Anton Bendarzszevszkij – Eszterhai Viktor: Az „új nagy játszma” Közép-Ázsiában. PAGEO Geopolitikai Kutatóintézet. <http://www.geopolitika.hu/hu/2019/01/22/az-uj-nagy-jatszma-kozep-azsiaban/> illetve Červonnaá, Svetlana: Pántürkizmus és pániszlámizmus az oroszországi történelemben (40. oldal) 2000, 2006 (18. évfolyam) szeptember; továbbá Gyene Pál István: Rezsimstabilitás és hatalomgyakorlás a posztszovjet Közép-Ázsiában. PhD értekezés, Témavezető: Rostoványi Zsolt DSc, egyetemi tanár. BCE, Budapest, 2015. továbbá Gecse Géza: Orosz nagyhatalmi politika 1905-2021. Dialóg Campus, 2022. és Sz. Bíró Zoltán: Oroszország és belső-ázsiai expanziója. továbbá Sz. Bíró Zoltán: Az Orosz Birodalom Közép-Ázsiai terjeszkedése. Politikatörténeti vázlat, Világtörténet, 2008. illetve Halász Iván: A tábornokok diktatúrái - A diktatúrák tábornokai. Fehérgárdista rezsim az oroszországi polgárháborúban 1917-1920. ELTE Magyar Ruszisztikai Intézet. Budapest, 2005.

²² Szovjetellenes felkelők Közép-Ázsiában

A vasút geostratégiai szerepével, a vasútvonalak építésének lehetőségével számos helyen foglalkozik a geopolitika és a katonaföldrajz szakirodalmában, tekintettel annak vitathatatlan kereskedelmi és katonai szerepére. Hadászati vonatkozásai miatt Helmuth Karl Bernhard von Moltke porosz királyi tábornagy elsőik között ismerte fel a vasúti szállítás jelentőségét, pártolta a vasútépítést. Haditerveiben a nagy létszámú hadseregek mozgósítását és átcsoportosítását már tudatosan a kor legmodernebb szállítóeszközére, a vasútra helyezte.²³

Gazdaságossági sorrendet tekintve a vízi szállítást a kontinentális államokra jellemző vasúti szállítás követi. Annak ellenére, hogy a folyami szállításhoz képest a vasút pályáját két pont között viszonylag nagy szabadságfokkal lehet vezetni – *a vasúti szállítást is számos földrajzi akadály gátolja*. Ilyenek lehetnek a mocsarak és a hegységek. „Különös szerepe van a nyomvonalvezetés szempontjából... a terepviszonyoknak, ugyanis 30–35 ezreléknél nagyobb emelkedőnél nem lehet hagyományos vasutat alkalmazni.”²⁴ „Kétdimenziós” jellege miatt a vasút, mint stratégiai szállítási forma, kizárólag a hegyláncok által határolt geostratégiai tereken belül értelmezhető (mivel a speciális hegyi vasutak szállítóképessége korlátozott, az alagutak építése pedig egy bizonyos határ felett nem kifizetődő). A vasútvonalak építésének lehetőségét gátolja a „legészakibb vasútvonal” problémájaként ismert klimatikus korlát is, hiszen bizonyos hőmérséklet alatt a sínek anyagának elridegedése áthághatatlan műszaki akadályt jelent.

A 19-20. században Közép-Ázsiában (és a környező térségekben) a vasútépítések meghatározó szerepet játszottak az orosz terjeszkedésben, felgyorsították az orosz gyarmatosítás folyamatát. Az Oroszországi Államvasutak 1891-ben kezdték meg a Moszkvát Szibériával és az orosz Távol-Kelettel összekötő, Transzszibériai Vasút építését. Tizenkét évvel később az első szerelvény befutott Moszkvából Vlagyivosztokba.

²³ Erre vonatkozólag részletesen lásd Kelley, Hohn P.: *Prussian Absorption of U.S. Lessons in the Military Uses of Railroads*. Forth Laevenworth, Kansas 2022. <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1210300.pdf> (Letöltés időpontja: 2025. 01. 24.)

²⁴ Lengyel Tamás (szerk.): *Közlekedésföldrajz*. <http://geografus.elte.hu/web/tananyag/3/ipar/gy/kozlfoldrajz.pdf>

Vasútvonal	Térség Közép-Ázsiában	Gazdasági szerep	Történelmi szerep
Transz-szibériai 1891-1903	Közép-Ázsia határától északra, egy ponton érintve a kazah határtérséget, leágazásokkal délre	Összeköti Oroszország keleti parti régióját a belterületekkel	1905-s orosz-japán háborúban stratégiai szerep, ill. <i>elősegítette az északközép-ázsiai orosz erődtímenylánc működtetését</i>
Transz-Kaszipi 1879-1888	Krasznovodszk – Szamarkand közti összeköttetés	Az orosz gyarmatosítás termékeit szállítja	Katonai szerepe is van és 1918-1922 között a vasutasokat is felfegyverzik
Transz-kaukázusi	Batumitól Tbiliszin át Bakuba	A Kaszpi-tengeren át kapcsolatot képezett a Kaukázus-előtér és Közép-Ázsia között	1918-tól a brit intervenció zajlik a Kaszpi-tengeren és Bakuban

A *Transz-Kaszipi Vasút építése* 1879-ben kezdődött meg, egyértelműen katonai célokhoz kapcsolódva. Első szakasza 1880-ban nyílt meg, és a vasúton szállított csapatok és ellátmány segítségével a déli irányba terjeszkedő orosz haderő a sztyeppe népek ellenállásának utolsó hullámain is megtörte. 1888-ra a vasútvonalat meghosszabbították egészen az afgán határig.

A *Transzkaukázusi Vasútvonal* a Fekete-tengeri Batumitól Tbiliszin át Bakuba tartott. A *Kaszpi-tengeren folytatott hajózással pedig, különösen a Transz-Kaszipi Vasút megépítését követően, nyugat-kelet irányú kapcsolatot képezett a két fontos gazdasági övezet – a Kaukázus-előtér és Közép-Ázsia belső területei között.*

A korábbi karavánutakat felváltó orosz vasutak rendkívüli mértékben csökkentették a kereskedelem és szállítás költségeit, növelték annak sebességét. A Transz-Kaszipi Vasút – katonai jelentőségén túlmenően – Közép-Ázsia gyapot-termesztését is jelentősen előmozdította. Ugyanakkor a térség országainak mezőgazdaságát, korábban virágzó élelmiszertermelését (gabonafélék, alma, szőlő, dinnye, sárgabarack, stb.) a mind a mai napig meghatározó vízigényes, monokultúrás gyapottermelés váltotta fel. Mindennek következtében a korábban gazdag közép-ázsiai régió alapvető élelmiszerekből a 19. század végétől kezdve behozatalra szorult.

VASÚTFEJLESZTÉSI KONCEPCIÓK ÉS MEGVALÓSULT FEJLESZTÉSEK KÖZÉP-ÁZSIÁBAN A 20-21. SZÁZADBAN

A Madrid-Jivu vasútvonal szerepét és a vasúti szállítás gazdaságossági mutatóit vizsgáló korábbi cikkünkben rámutattunk arra, hogy a vasút technikai fejlődése következtében a nemzetközi szállítmányozás egy átrendeződési folyamatot mutatnak a vasút javára. Különösen a konténeres szállítás tekintetében tapasztalható, hogy egyes áruszegmensekben a vasút gyorsabbá és olcsóbbá – ezáltal vonzóbbá – válik a tengeri szállítással szemben.²⁵ A cikkben leírtuk azt is, hogy napjainkban javul a vasúti szállítás – különösen a terjedőben lévő villamosított vasúti szállítás – gazdaságossága. Ha a világ transzkontinentális szállítmányozási folyamatainak súlypontja elmozdul a tengerről és a folyamokról a vasutakra, az jelentősen megváltoztathatja a globális gazdaságföldrajzi tér szerkezetét, és ezen keresztül a geostratégiai viszonyokat is.²⁶

Amennyiben létrejön a Kínát Európával összekötő, átrakodás nélküli, kedvező esetben villamosított vasúti szállítási lehetőség, az nemcsak Kína és Európa gazdaságát, de Közép-Ázsia fejlődését is hatékonyan szolgálhatja. E törekvést elsősorban a TRACECA (Transport Corridor Europe-Caucasus-Asia – Európa-Kaukázus-Ázsia Közlekedési Folyosó) project jelenleg részben még építés alatt álló vasúti nyomvonalai szolgálhatják – mely project Európa és Kína érdekeltségi körébe esik. Az Európai Unió a közép-ázsiai, a kaukázusi térséggel és Kínával való gazdasági és kereskedelmi kapcsolatai fellendítésére irányuló programot 1995-ben indította el. A TRACECA az említett térségekkel közvetlen gazdasági és kereskedelmi összeköttetést megvalósító fejlesztést tűzte ki célul.

Amíg a 19-20. században az orosz-brit „Nagy játszma” ismert folyamatban jelentős szerepet játszottak az észak-dél irányú orosz vasútépítések, addig az „új Nagy játszma” a kelet-nyugati vasútépítés jellemző. Ez az „Új selyemút” létesítésében is meghatározó szerepet játszik.

Az Európa-Kína közötti vasútnak a logisztikai mellett jelentős geopolitikai, geostratégiai hatásai is vannak, melyek a vasúti útvonalnak helyet adó Közép-Ázsia megerősödését eredményezi. Ez a változás elvezethet a türk Közép-Ázsia pántürkizmus elvei szerint elgondolt integrációjához, új geostratégiai térséget létrehozva, amely a magterület elmozdulásához vezethet Oroszországból a föld-

²⁵ Turcsányi Károly - Hegedűs Ernő: Vasúti szállítás kontra tengeri szállítás: a Madrid-Jivu vasútvonal logisztikai és biztonságpolitikai szerepe - szállítási ágak közlekedés-stratégiai vizsgálata. Katonai Logisztika 2018. évi 3-4. szám 241-272. o. DOI: 10.30583/2018/3-4/241

²⁶ Turcsányi Károly - Hegedűs Ernő: Vasúti szállítás kontra tengeri szállítás: a Madrid-Jivu vasútvonal logisztikai és biztonságpolitikai szerepe. Katonai Logisztika 2018. évi 3-4. szám 241-272. o.

gázban, uránban és kőolajban egyaránt gazdag Közép-Ázsiába.²⁷ A vasútépítés tehát nemcsak a végpontokon elhelyezkedő Európa és Kína gazdaságainak érdeke, hanem annak a területnek is, amelyen áthalad.

A fejlődés több szempontból is jelen van ebben a folyamatban:

- *logisztikai fejlesztés* tárgyát képezi a jelenleg 12 000 km hosszú Madrid-Moszkva-Jivu vasútvonal nyomvonalának racionalizálása egy lényegesen rövidebb – a Közép-Ázsiai régióban lényegében egyenes szakasz kiépítése (nyomtáv-váltás nélkül);
- *vasút-technikai fejlesztés* során olyan hegesztett síneken futó, végig európai nyomtávú, 2028-tól növelt teherbírású kapcsolóelemekkel működő, villamosított vasút megépítése, amelyen akár 250 km/h sebesség is megvalósítható.

Az Európát Kínával összekötő vasútvonal tervezett illetve megvalósult útvonal-változatai

- 1.) Moszkván keresztül megvalósult, működő változat (TSR – transzszibériai vasút), mintegy 10 000 km vonalhosszal és 15-20 nap szállítmányozási időtartammal, nyomtáv-változás miatti kétszeri átrakással (A Madrid-Jivu vasútvonal vonalhossza: 13 052 km).²⁸
- 2.) A TRACECA vasútfejlesztési program, amelyet az Európai Unió 1995-ben indított el.²⁹
- 2/a.) Az eredeti terv szerint az Aral-tó észak, Kaszpi-tenger észak, Doni-Rosztov, Lemberg (Lviv) útvonalon vezették volna a vasútvonalat – ez lenne a legrövidebb út. Ez a variáns egyfelől Oroszország ellenérdekeltsége, másfelől a 2014-től háborús övezetként működő Ukrajna kockázatos volta miatt napjainkig nem valósult meg. *(Ezért nem szerepel a 3. sz. ábrán).* Ezen 7-8 nap alatt lebonyolítható lenne a szállítás Kínából Európába. A vonalsza-

²⁷ Közép-Ázsia esetleges jövőbeli meghatározó szerepére és a régió lehetőségeire lásd Aslanov, Mirshohid – Komilov, Alouddin: Central Asia: The Once and Future Heart of Eurasia. Geopolitical Monitor, 2024. <https://www.geopoliticalmonitor.com/central-asia-the-once-and-future-heart-of-eurasia/> (Letöltés időpontja: 2024. 08. 01.)

²⁸ Yang, Liu: Yiwu, Madrid run two commemorative cargo trains to mark 50 years of diplomatic ties. Global Times. <https://www.globaltimes.cn/page/202303/1286986.shtml> (Letöltés időpontja: 2025. 01. 23.)

²⁹ A TRACECA (Transport Corridor Europe, Caucasus, Asia) gyakorlatilag egy nemzetközi szállítmányozási program, melynek tagsága európai uniós, kelet-európai, kaukázusi és közép-ázsiai országokból áll. Az EU 1995-ben indította a TRACECA projektet, melyhez az EU államokon kívül 12 ország csatlakozott. Titkársága, melynek fenntartását teljes mértékben az Európai Bizottság támogatja, Bakuban található. 2009 óta a szervezetet a tagállamok finanszírozzák.

kasz európai project keretében történő kiépítése 2007-től 2014-ig szerepelt a tervekben, térképeken – hazai vonatkozásban *Záhony-Ürümcsi vasút néven jelölték*.³⁰

- 2./b.) A Kaszpi-tengeren való áthajózással megvalósított TRACECA változat, 12-14 napra csökkenthető időtartammal, egyszeri (kompra történő RO-RO) átrakással, a biztonságos Törökország felé. *A vasúti kocsikat kényszerűen kompok viszik át a Kaszpi-tengeren a Kaukázus lábához, Európa felé futó szállítási útvonalakra – ami technikai értelemben körülményes és kockázatos. Viszont így az egész vasútvonal a türk államokon halad át. Ez a verzió 2022-től az orosz-ukrán háború miatt intenzíven működik*,³¹
- 3.) Egy északi Central Corridor Route változat Szibéria felé, amely Nyugat-Európával Belarusz-Lengyelország illetve Ukrajna-Szlovákia útján teremthetne kapcsolatot;
- 4.) A „TRACECA 2” a Kaszpi-tengert délről kerülve *Iránon és Törökországon át* lehetséges variáns, amely viszont Irán szélsőséges társadalmi berendezkedése miatt kevésbé biztonságos. Irán ezen területén zömében türk etnikumú azeriek élnek (Dél-Azerbajdzsán), így nemzetiségi és kulturális feszültségekkel számolhatunk.³²

Az 1. variáns tulajdonképpen a ma ismert *Madrid-Jivu* vasútvonalon működik, ami a Transzsibériai vasúton alapul. Az 1. és a 2/a. legrövidebb variánsok közötti időtartam-különbség nagyságrendileg háromszoros lenne, emellett – az átrakások mellőzésével – a szállítási költségek is jelentősen csökkennének. Azonban ez a vonal az orosz elő-kaukázusi térségen, a Kalmük Sztyeppén (Asztrahán-Rosztov szakasz) haladna át. Az Orosz Föderáció ennek megépítésében ellenérdekelte.

A 2/b. *útvonalú* vasúti szállítás jelenleg vasúti kompok használatára kényszerül a Kaszpi-tengeren. A vasúti kompokkal komplett vasúti teherszerelvényeket lehet a vízen átszállítani az áruk ki- és berakodása nélkül. A hagyományos vas-

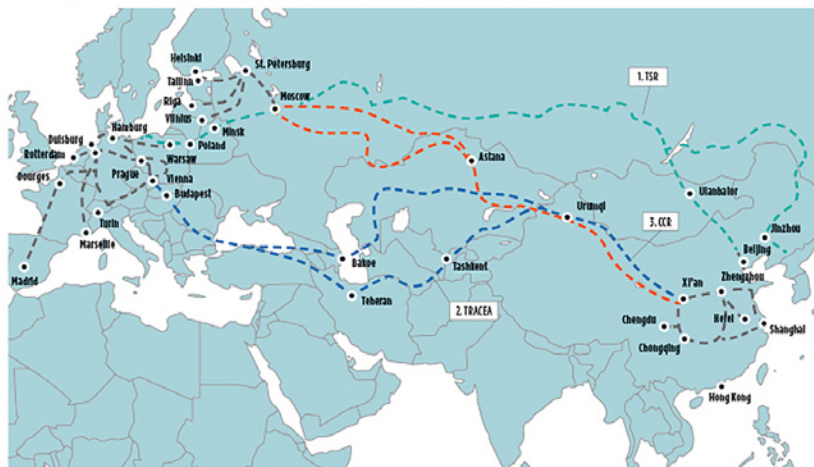
³⁰ Már sinen van a kínai konténervonat. Magyar Nemzet 2014. február 8. szombat. 13. o.

³¹ Paul Goble: Central Asian Rail Deal Allowing China to Bypass Russia, Expand Trade with Europe. Eurasia Daily Monitor, Volume: 17 Issue: 56. 2020., April 23.

³² Irán népességének hivatalosan mintegy 16%-a azeri származású, bár egyes becslések szerint az ország akár harmadát is azeri nemzetiségűek alkotják. Lélekszámuk még előbbi esetben is magasabb, mint Azerbajdzsán teljes azeri nemzetiségű lakosságának lélekszáma. Vö. Azeri community in Iran – inequality and discrimination. European Parliament. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2023-003110_EN.html (Letöltés időpontja: 2025. 01. 25.); Vasa László: The Long Struggle of Iran's Azerbaijani Community. CIRSD. <https://www.cirsd.org/en/horizons/horizons-spring-2024--issue-no-26/the-long-struggle-of-irans-azerbaijani-community> (Letöltés időpontja: 2025. 01. 25.)

Connections in China

150 weekly trains to/from 16 regions in China



1 Trans-Siberia Route (TSR): Connecting Northern China, Mongolia, Russia, the Baltics and Scandinavia

2 TRACECA: Connecting Western Europe via Turkey and countries around the Black Sea and the Caspian Sea

3 Central Corridor Route (CCR): Connecting Western Europe via Belarus-Poland and Ukraine-Slovakia

3. sz. ábra. Létező és lehetséges vasúti útvonalak Kína és Európa között³³

Jelmagyarázat: 1.) Transz-szibériai vasút - piros; 2.) TRACECA a Kaszpi-tengeren keresztül, vasúti kompolással – kék felső ág; 3.) Az északi CCR változat Szibéria felé – zöld; 4.) A „TRACECA 2” Teherán felé- kék alsó ág

úti komphajók közbeiktatása viszont megtöri a szállítás folyamatosságát, növeli időigényét.³⁴ A vasúti komp alkalmazásának elkerülése érdekében északról (2/a megoldás) vagy délről (4. megoldás) meg kellene kerülni a Kaszpi-tengert.

Oroszország az Asztrahán-Rosztov vasúti szakasz kiépítése helyett a Volga-Don-csatorna felújítását vagy azzal párhuzamos új csatorna építését tervezi a Kouma-Manych-mélyedésben. Ennek stratégiai előnye számára az, hogy elősegíti a hadihajók átcsoportosítását a Kaszpi-tenger és a Fekete-tenger között.

³³ <https://siteselection.com/issues/2021/jan/asia-opportunities-along-the-new-silk-rail-route.cfm>

³⁴ Erdősi Ferenc: Transzeurázsiai közlekedési kapcsolatok nagy- és középfatalemi erőterekben. Tér és Társadalom 29. évf., 2. szám, 2015 doi:10.17649/TET.29.2.2677



4. sz. ábra. Vasúti kompolás a Kaszpi-tengeren, ami egyfelől lassítja a vasúti szállítást, másfelől veszélyes és időjárás-függő megoldás³⁵

Fejlesztések a Kaszpi-tengeren átvezető középső vasúti folyosó (Central Corridor) kapacitásnövelése érdekében

Közép-Ázsia és Kína hálózatának összekötése, az Ázsia közepén Ny-K-i irányban végighúzódnó, második transz-eurázsiai vonalnak a fejlesztése mindenképp Kazahsztán érdeke, mivel gazdasága igen erősen exportorientált. Az ország ásványkincsekben a Föld egyik leggazdagabbja: wolfram, ólom és barit készletek tekintetében első, ezüst, cink és krómérc készletekben második, mangánból a harmadik, rézből a negyedik, aranyból a kilencedik, földgázból és szénből a tizedik, kőolajból a tizenharmadik a Földön. Különösen a szénhidrogének termelésének van nagy jelentősége.³⁶ Ezt szolgálja a 2011-ben létrejött új vasúti kapcsolat Kína és Kazahsztán között – Khorgos (Kína, Hszincsiang) logisztikai központtal, – amely növelte az átrakó kapacitást a különböző nyomtávú hálózatok között.

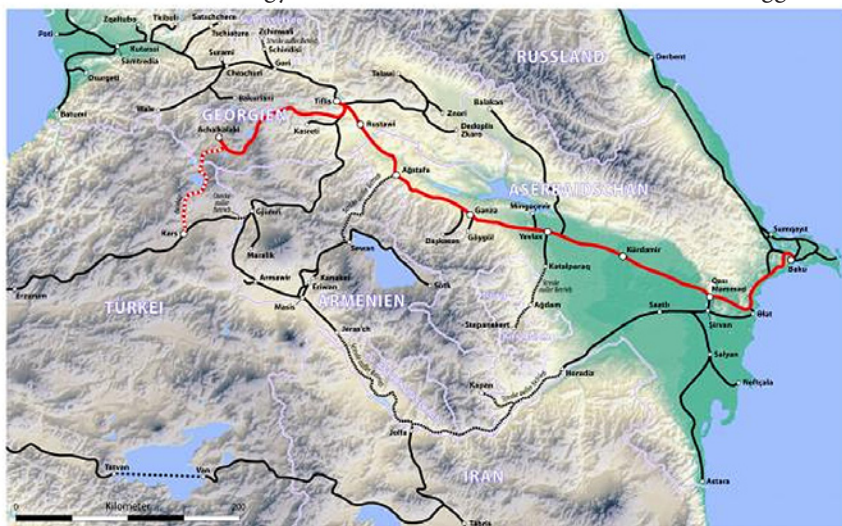
Kazahsztán – Európa és Kína segítségével - az elmúlt 15 évben hozzávetőleg 35 milliárd dollárt fektetett be több mint 2000 kilométer vasút és kikötői kapacitások megépítésébe a Kaszpi-tengeren történő áthajózás érdekében. A hajók ki- és berakodása azonban jelentős – az északi útvonalhoz képest 30 százalékos – többletköltséget jelent.

³⁵ Hazánknak is jól jöhet az Új selyemút <https://mandiner.hu/hirek/2023/05/uj-selyemut> (2023.05.10.)

³⁶ Dr. Erdősi Ferenc: Az új transzeurázsiai vasúti összeköttetések (I. rész) Közlekedéstudományi Szemle, 1999. 49. évfolyam, 7. szám 243-245. o.

séggel jár – de még így is bőven megéri ezen az útvonalon szállítani. 2021. május 10-én a finn Nurminen Logistics cég konténervonatot indíthatott Kínából Közép-Európába, immár a Kaszpi-tengeren átívelő útvonalon. Ez a nemzetközi közlekedési útvonal (TITR – Trans-Caspian International Transport Route – Transzkaszpai Nemzetközi Kereskedelmi Útvonal) a Középső folyosón (Central Corridor) valósul meg.³⁷ Áthalad Kazahsztánon, Üzbegisztánon és Türkmenisztánon, a Kaszpi-tengeren és Azerbajdzsánba, Grúziába és a Fekete-tengeren Európába vezető úton: összesen mintegy 4250 km vasútvonal és 500 km tengeri szállítással. Ez körülbelül 2000 km-rel kevesebb, mint az eurázsiai északi folyosóé, valamint egy hét tranzitidő-megtakarítást jelent.³⁸ A vasútépítési munkálatok tehát nem technikai okokból húzódtak évtizedekig, hanem gazdasági és geopolitikai okokból.³⁹

A dél-kaukázusi régiót átszelő, mintegy 800 kilométer hosszú Baku–Tbiliszi–Karsz vasútvonal Azerbajdzsán fővárosát kapcsolja össze a Kaukázus délnyugati csücskében fekvő török kereskedővárossal, Karsszal, és áthalad a grúz fővároson, Tbiliszin, és így közvetlen összeköttetést teremt Törökországgal.



5.sz. ábra. A Baku-Tbiliszi-Karsz vasútvonal új építésű 105 kilométeréből 76 kilométer Törökországban, 29 kilométer Grúziában fut. A vasútvonal 2017-ben nyílt meg, kapacitása elérheti az évi 17 millió tonnát

³⁷ James Jay Carafano: Central Asia's Middle Corridor gains traction at Russia's expense. <https://www.gisreportsonline.com/r/middle-corridor/>

³⁸ Victor Kotsev: The Middle Corridor: Central Asia's rail independence vision Raliway Technology <https://www.railway-technology.com/features/the-middle-corridor-central-asias-rail-independence-vision/?cf-view&cf-closed> (2023.09.25.)

³⁹ Europeo – Kína tíz éve kezdett bele az Új Selyemút építésébe https://www.youtube.com/watch?v=BT0HWPJmbN8&ab_channel=ATVMagyarorsz%C3%A1g
https://oroszvalosag.hu/?t1=ruszisztika_hirei&hid=2032 (2011 05 26-i helyzet)

Jelenleg a Kaukázus-előtér a Kaszpi-tengeren át futó középső vasútvonal átvezetésének szűk keresztmetszete, amelyben nemcsak a hegyi terep játszik meghatározó szerepet. A kaukázusi térség Törökország számára az egyik legfontosabb területnek számít: összekötő folyosó a Közép-Ázsiában található török nyelvű államok és a Kínában, valamint Oroszországban létező török autonómiák között. (Rosztov, Krasznodar, Adige, Karacsajevo-Cserkesz, Kabard-Balkár, Sztavropol, Kelet-Oszétia, Ingusföld, Csecsenföld, Dagesztán).⁴¹ Jelentős előre lépés a Baku-Tbiliszi-Karsz vasútvonal hatékony működtetése, mely elvezet egészen Isztambulig, a Boszporuszig és Európába.

Az orosz-ukrán háború hatására Oroszország vasúti forgalma csökkent. Az orosz vasút már a Krím-félsziget 2014. évi orosz megszállását követően, 2015-ben megszüntette járatait a következő FÁK-országokba: Azerbajdzsán, Ukrajna, Tádzsikisztán és Kazahsztán. A háború fokozatosan a Közép-Ázsiában futó vasúti útvonalra tereli ezek forgalmát.

A VASÚTI FORGALOM NÖVEKEDÉSE A KÖZÉPSŐ FOLYOSÓ

VASÚTVONALAIN (2011-2021)⁴²

4. sz. táblázat

Év	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Vonatok száma	17	42	80	308	815	1792	3673	6376	8225	12405	15000
Növekedés		147%	90%	285%	165%	120%	105%	74%	29%	51%	21%

A 4. sz. táblázat alapján már a Krím orosz megszállásakor is kiugró növekedést mutatott a vasúti szállítás déli útvonalra terelődése, azonban *a valóban jelentős növekedés 2022-től, az orosz-ukrán háború kitörése miatt vette kezdetét a Középső Folyosó vasútvonalain.*

A nemzetközi biztosítók az orosz-ukrán háború kitörését követően nem vállalják a szállítmányok garانتálását Oroszország területén, ezért sürgősen elkerülő utakat kellett találni a transz-szibériai vonal helyett. A dél-kaukázusi és közép-ázsiai nemzetek gyorsan kihasználták Oroszország ukrainai háborúból adódó gazdasági problémáit, és Oroszország megkerülésével, annak rovására kiterjesztették alternatív Kína-Európa áru fuvarozási útvonalukat. E törekvésekben Kína és Törökország is segítette a türk államokat.

41 Czene Gréta: Az Európai Unió válságkezelő tevékenysége a dél-kaukázusi térségben. NKE HDI, Budapest, 2012. 129-130. o.

42 Transport from China to Europe – rail freight is an option
<https://mydello.com/transport-china-to-europe/> (2023.10.23.)

Az orosz útvonal a háború előtt az Európa és a Távol-Kelet közötti vasúti forgalom több mint 90%-át bonyolította le. *A háborús szankciók miatt 2022-ben akár 40%-kal is csökkenhetett az eurázsiai északi folyosón áthaladó szállítmányok mennyisége. 2022-ben már 1,5 millió tonna áru utazott át Kazahsztánon a TITR-en, ami több mint kétszerese a 2021-es mennyiségnek.*

Üzbegisztán és Kirgizisztán is gyorsan bővíti vasúti kapcsolatait Kínával. Kazahsztán 2500 km vasutat épített meg 2014-2023 között, mintegy 35 milliárd dolláros költséggel. Eközben Azerbajdzsán és Kazahsztán kikötői kapacitásain és kompjaiakon dolgozik a Kaszpi-tengeren a középső folyosó fejlesztésének részeként, beleértve Khorgos logisztikai bázist, illetve a Kína határán lévő Khorgos-Eastern Gates különleges gazdasági övezetet és az Aktau Kaszpi-tengeri kikötőt.⁴³ Zajlik Aktauból egy déli vasúti magisztrál megépítése Türkmenisztán és Irán felé. Kínai részvétellel kerül sor az Asztana és Almati közti 1200 km hosszú új gyorsvasút létrehozására. Kína pénzügyi támogatást nyújt Tádzsikisztánnak, 300 millió dollár összegben, és energetikai, *vasútfejlesztési* projektekben vesz részt a jövőben.⁴⁴

A háború hatására fejlesztik a Kaszpi-tengeren közlekedő vasúti teherkompok szállítási kapacitását is. Asztana tervei között szerepel az aktaui kikötő átalakítása tranzitközponttá. A TITR 2022. szeptembertől a korábbi háromról hat darabra növelte a kazahsztáni Aktau és az azerbajdzsáni Baku kikötője között közlekedő hajók számát, ami a középső folyosó vasúti szállítási kapacitásának megduplázódását jelenti. Ugyanakkor a *Kaszpi-tengeri szakasz az útvonal szűk keresztmetszeteinek számát és a vasúti komphajók kapacitása továbbra is elégtelen.*⁴⁵

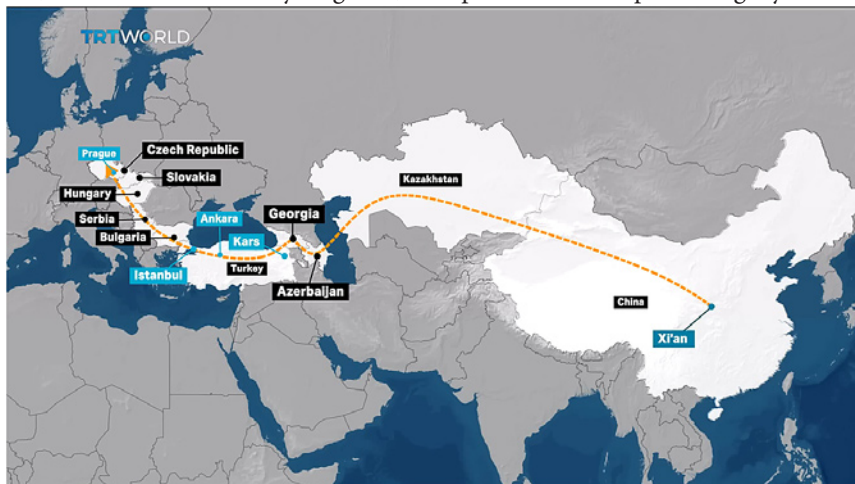
Törökország a Marmaray alagutat (Ázsiát Európával a Boszporusz szoros alatt összekötő vasúti alagút, amelyet 2023-ban adtak át) a transz-eurázsiai útvonal támogatására építette meg, így a tehervonatoknak már nem kell a konténereket átrakodni grúz kikötőkben fekete-tengeri hajókra, illetve nem kell kompokat igénybe venniük a Boszporusznál, Isztambulban. Ezzel párhuzamosan Grúzia is új hajózási útvonalat dolgoz ki a grúziai Poti és a romániai Konstanca kikötői között, azerbajdzsáni és kazahsztáni vállalkozásokkal együttműködve.

43 The Middle Corridor - In Central Asia's vision for rail independence, Kazakhstan has prime position to be the hub. Future Rail Issue 103 • July 2023. https://rail.nridigital.com/future_rail_jul23/issue_103

44 Emellett a Kínaiak építenek Észak-Tádzsikisztánban egy kohászati üzemet 250 millió dollár értékben, és 140 millió dollárt fektetnek a Zarafson aranykitermelő vállalatba.

45 A vasúti komphajók kapacitása 350, 125 és 125 szabványos méretű konténer (TEU), vagyis összesen 600 TEU. Figyelembe véve a három-négy napos menetidőt oda-vissza, a három hajó együtt heti öt indulást tud biztosítani. Csakhogy a China Railway Express teljes szállítási volumene az oroszországi útvonalon elérte az 1,46 millió TEU-t, ami körülbelül heti 28 000 TEU-t jelent. A vasúti komphajók számát hatra, majd hétre emelték.

Xian-ból, Kazahsztánba, a Kaszpi-tengeren keresztül Azerbajdzsánba, azután Törökországba a 2021-ben megnyitott Baku – Tbiliszi – Kars vasútvonalon, áthaladva a Marmaray alagúton, Európába az út 12 napot vesz igénybe.



6. sz. ábra. A Hsian(Xian)-Prága vasúti útvonal.

A tehervonatok isztambuli átkelését a Boszporuszon a Vitéz Szelim szultán közúti-vasúti híd jelenleg épülő vasúti vágányai is hamarosan lehetővé teszik. A kizárólag vasúti Yavuz Sultam Selim-híd 2016-ban nyílt meg. Fontos vasúti átkelési képességet jelent tehát az alagút, de még jelentősebb a két vasúti híd.⁴⁶

Az Európa–Kína vasútvonal kiépítésének lehetősége Teheránon át és a leágazás Türkmenbasi kikötő felé

Az Európát Kínával összekötő 4. variáns az Iránon, Teheránon át futó déli vasútvonal. Az orosz-ukrán háború a legdélebbre fekvő – Iránon keresztül haladó - vonalszakasz építését is serkenti. Így a régóta elakadt Kína-Kirgizisztán-Üzbegisztán vasúti projekt is előre haladt. A vasút megvalósítása esetén nem csak a Dél-Kaukázussal, hanem az Üzbegisztánnal folytatott kereskedelemben is jelentős növekedés várható.

A tervek szerint Kirgizisztánban a vasútvonal Torugartnál érkezik meg Kína felől az országba, hogy Dzsalalabadnál érje el Üzbegisztánt. *Itt vált a nyomtáv az Európában és Kínában használt 1,435 méterről az egykori Szovjetunióban*

⁴⁶ Szászi Gábor: Nagyfolyami vasúti hidak, mint közlekedési létfontosságú rendszerelemek In: Horváth, Attila; Bányász, Péter; Orbók, Ákos (szerk.) Fejezetek a létfontosságú közlekedési rendszerelemek védelmének aktuális kérdéseiről Budapest, Nemzeti Közszozlálati Egyetem (NKE) (2014) 152 p.

használt 1,52 méterre. A Kínát, Kirgizisztánnal és Üzbegisztánnal összekötő vasútvonal, ha elkészül, több százmillió dolláros éves tranzitbevételt generál Kirgizisztánnak.⁴⁸



7. sz. ábra. A déli vasúti szakasz tervezett vonala Teheránon át⁴⁷ - piros pontozott vonal (A közép-ső folyosó (piros) az eurázsiai északi folyosó (sárga) és a tengeri déli folyosó (kék) alternatívája).

A déli, teheráni vasútvonal megépítése napjainkban tehát tényszerűen zajlik, befejezése kedvező esetben 2030-ra prognosztizálható.

A Teherán-vasútvonal egyik mellékága Bereketen át a türkménisztáni Türkmenbasi kikötő felé halad, a Kaszpi-tenger partjára. Ez azért érdekes, mert a 11500 km-es Teherán felé haladó vasútvonal (4. megoldás) olyan hosszú – lényegében majdnem akkora kerülő délre, mint a Moszkva felé elkanyarodó útvonal északon – hogy ismét felmerül a Kaszpi-tengeren végzett vasútikomp-átszállítás lehetősége Bakuba, ami rövidíti a vasúti szállítási útvonalat. Baku a Kaszpi-tenger szemközti partján helyezkedik el, a Türkmenbasi-Baku hajóút tehát a legközelebbi – összevetve az Aktau-Baku vasúti komp útvonallal, ami szinte „hosszában” szeli át a tengert.

⁴⁷ <https://www.railway-technology.com/features/the-middle-corridor-central-asias-rail-independence-vision/?cf-view&cf-closed> (vasúti technológia honlap 2023)

⁴⁸ Lassan helyére kerül az Európa – Kína vasútvonal utolsó darabja is <https://www.bitcoinbázis.hu/lassan-helyere-kerul-az-europa-kina-vasutvonal-utolso-darabja-is/> (2023.03.20.)

OLAJ- ÉS GÁZVEZETÉKEK ÉPÍTÉSÉNEK ÉS VONALVEZETÉSÉNEK KÉRDÉSE KÖZÉP-ÁZSIÁBAN

A kőolaj kitermelésnek és szállításnak is jelentős a geopolitikára gyakorolt hatása.⁴⁹ Az olaj geopolitikája leírja az olaj iránti kereslet és kínálat *hatását azon országok politikájára*, amelyek ezt a nyersanyagot fogyasztják és termelik. Az olajkészletek korlátozottak és földrajzi elhelyezkedésük általában nem esik egybe a fogyasztó országokéval. A fogyasztó országokat – általában *a katonai nagyhatalmakat* – arra készítetik, *hogy erőteljes (katonai vagy gazdasági) nyomás gyakorlása eszközökkel hozzáférjenek ezekhez az erőforrásokhoz.*⁵⁰

Elsőként a világ korszerű haditengerészeiben vált stratégiai fontosságú üzemanyaggá a kőolaj. A 19. század végén – a széntüzeléshez képest – az olajtüzelés mintegy 50%-al megnövelte a csatahajók hatósugarát. John Fischer, az angol haditengerészet vezetője 1883-ban *azt a következtetést is levonta, hogy az olaj fölötti hatalom egyúttal világhatalmat is jelent.*⁵¹ *A húszas évekre az olaj stratégiai nyersanyaggá vált.* Hamarosan megnövekedett a vegyipar és az elektromos erőművek kőolaj-igénye is. *Majd az olajkitermelés során felszínre kerülő földgáz is bekapcsolódott az energiapiaci folyamatokba.*

A 20. század első évtizedeiben a világ egyes, addig kevésbé jelentős térségei – Kaukázus, Baku, Kaszpi-térség, Perzsa-öböl, stb. – hirtelen felértékelődtek a geopolitikában, melynek oka az olaj kitermelésének lehetősége volt ezeken a területeken.⁵² Az 1970-es évek elején az olajválság tette nyilvánvalóvá, hogy az olajjal rendelkező államok képesek olyan mértékben hatást gyakorolni a többi államra és az egész világ gazdaságra, amely egyébként nem lenne lehetséges sem a területük, sem a lakosságuk nagysága alapján.⁵³

Az olajkitermelés módszerei mellett robbanás-szerűen fejlődtek az olaj nagy távolságú szállításának technológiai is.

A kőolaj és a földgáz feletti ellenőrzés megszerzése háborúk kitörésének az oka lehet. A Hormuzi-szoroson a világkereskedelem csaknem 20%-a halad át, lezárása vagy a forgalom akadályozása világkereskedelmi szempontból elképzelhetetlen.⁵⁴ A kelet-nyugati irányú csővezeték geopolitika érdekütközéseinek tipikus terepe napjainkban a Kaszpi-tenger és a Kaukázus térsége, illetve Törökország.

⁴⁹⁻⁵⁰ Philippe Sébille-Lopez: A kőolaj geopolitikája (Géopolitique du pétrole). Armand Colin, 2006. ISBN 2-2003-4541-0

⁵¹ „Az olajtüzelés 50%-al növeli a flotta értékét!”- állapította meg Fischer.

⁵² Pl. – ahogyan cikksorozatunk II. része is rávilágít erre - nyilvánvalóan az olajkitermelés feletti kontroll megszerzése miatt avatkoztak be a brit intervenciók Bakunál, illetve a Kaukázus és a Kaszpi térségben az orosz polgárháborúba és a baszmacs felkelésbe 1917-1924 között.

⁵³ Matus János: A biztonság, a gazdaság és a kölcsönös függőség problémái a nemzetközi kapcsolatok elméletének különböző irányzataiban. MTA Doktori Értekezés. Budapest, 2003.

⁵⁴ Philippe Sébille-Lopez: A kőolaj geopolitikája (Géopolitique du pétrole). Armand Colin, 2006. ISBN 2-2003-4541-0

Ma Eurázsia az egyik olyan terület, ahol világméretű versengés folyik a földgáz megszerzéséért és továbbításáért. Oroszország is az energiaforrásait használja fel gazdasága versenyképességének fenntartására, katonai ereje, hadiipari termelése növelésére. *Ezen túl hatást gyakorol azon államokra is, amelyek a Szovjetunió felbomlásáig annak tagállamai voltak. Befolyása ezekre a ma már független államokra még ma is jelentős.* Az ezredfordulót követően Nyugat-Európa gázszükségletének 40%-át Oroszország adta. A Kaszpi-tenger tisztázatlan jogi státusza teszi igazán bonyolulttá ezt a kérdéskört.⁵⁵ A térség tehát a geostratégiai érdekek metszéspontjában van, a jövő egyik lehetséges konfliktus-zónája, amely az EU mellett Kína számára is alapvető fontosságú az energiahordozókhoz való hozzáférés szempontjából.⁵⁶

A gáz szállítása (az LNG szállítóhajók terjedése ellenére is) inkább csővezeték-függő, mint az olajé – ezért *földrajzi függősége miatt jelentősebb mértékben geopolitikai kérdés.* Gázra napjainkban nagy szükség van, *két évtized alatt a világ gázfelhasználása megnégyszereződött.*⁵⁷

Kitermelésének technológiai változásai, fejlődése is befolyásolják a világ gázpiacait és befolyást gyakorolnak a világ geopolitikai egyensúlyára. A palagáz kitermelés a változások új területe, az amerikai hatalmas mezők feltárása, a kifejlett kitermelési technológia alapvetően hat a világ gázenergia felhasználására. Ennek következtében vált lehetővé az LNG szállítmányok egy részének átirányítása Európába, ami az EU számára a szükségletek kielégítésének egy lehetősége, Amerikának pedig egy jelentős piac és geopolitikai kártya.⁵⁸

A Kaszpi-tenger régiójának feltáratlan olajkincse az északi-tengeri méretekhez hasonló. Stratégiai szempontból talán ennél is fontosabb földgázkincse (de a világ uránkészleteinek negyedét is itt rejtja a föld).

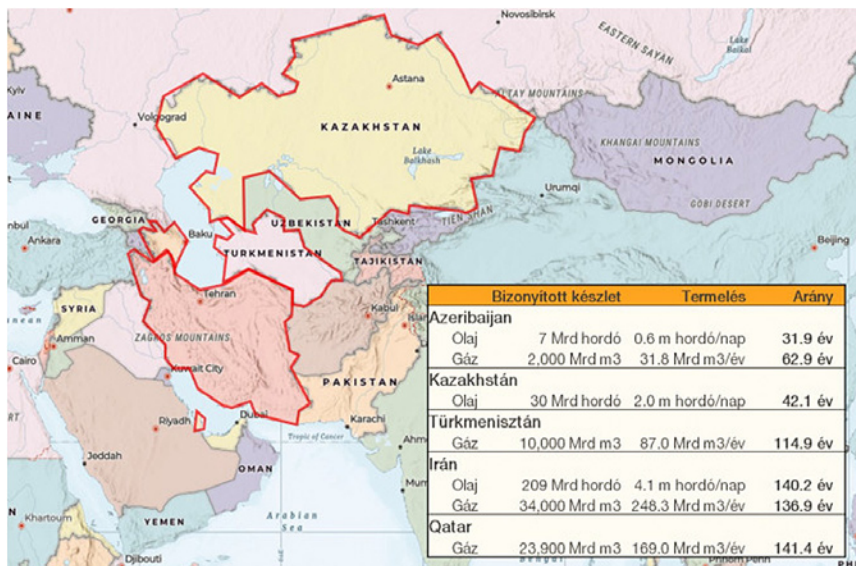
A Szovjetunió felbomlása és a függetlenné váló egykori tagköztársaságok hamar „átrendezték a világ térképét”. Az orosz Lukoil 1995-ben kezdte meg a kitermelést a Kaszpi-tenger északi részén. Irán eddig kevés lépést tett a kitermelés megindítása felé. Annál nagyobb kapacitással, tőkével és csúcstechnológiával vonultak fel a térségben a nyugati energetikai ágazat befektetői. „...Kazahsztán... lehetővé tette a nemzetközi tőke számára, hogy részt vegyen a kazah szénhidro-

⁵⁵ Dr. Hubai József: Geostratégiák gazdaságföldrajza https://publikaciotor.uni-bge.hu/318/1/2008_1_08.pdf

⁵⁶ Makkay Lilla: Élénkülő forgalom a Selyemúton, avagy a „Nagy Játzsma” újabb fejezete Közép-Ázsiában Külügyi Szemle, 2009 (8. évfolyam) 1. szám. 147

⁵⁷ Daniel Yergin: Változó világtérkép - Energia, klíma és a nemzetek közti konfliktusok. MCC Press Kft., Budapest, 2023. 124. o.

⁵⁸ Daniel Yergin: Változó világtérkép - Energia, klíma és a nemzetek közti konfliktusok. MCC Press Kft., Budapest, 2023. 79, 80. o.



8. sz. ábra: Közép-ázsiai és közel-keleti ország szénhidrogénkészlete és -kitermelése.
 Forrás: ArcGIS Online, EIA, Concorde-elemzés (2025).

gén-vagyon kiaknázásban, és ez az amerikai politikai és gazdasági érdeklődés középpontjába emelte.”⁵⁹ Becslések szerint az ország rendelkezik a világ 12. legnagyobb kőolaj- és 15. legnagyobb földgáztartalékával.⁶⁰

Türkmenisztán földgáztartaléka a 2006-ban felfedezett Dél-Jolotan és Oszman óriásmezők révén a hatodik legnagyobbnak számít a világon. (A negyedik legjelentősebb földgázexportőr állam Oroszország, az Amerikai Egyesült Államok és Irán mögött.) A szovjet időkben Moszkva úgy alakította ki a rendszert, hogy a térség nyersanyagai kizárólag az orosz vezetékeken keresztül jussanak el a piacokra. A Szovjetunió megszűnése után a türkmén gáz kereslete visszaesett. Új exportpiacok felé földrajzi elhelyezkedése miatt nehezebb tudott és tud még ma is nyitni az ország, amely Afganisztánnal, Kazahsztánnal, Üzbegisztánnal és Iránnal határos. Európa felé kézenfekvő exportútvonalat jelenhetne a földgáz eljuttatása Azerbajdzsánba a Kaszpi-tengeren át (tervezett, de máig meg nem valósult Transz-Kaszpi Földgázvezeték útján). Felmerült másik irányban föld-

⁵⁹ Wagner Péter: Hasonlóságok és különbségek a politikai iszlám tevékenységében Üzbegisztánban és Tádzsikisztánban a modernizáció időszakában (1917-2011). PTE PhD értekezés, Pécs, 2012. 76, 84. o.

⁶⁰ Bernek Ágnes: Közép- és Kelet- Európa a 21. század geopolitikai/geoökonómiai startégiáiban Akadémia Kiadó, Budapest, 2014. 56, 121, 171. o.

gázvezeték létesítése Afganisztánon át Dél-Ázsia felé, de politikai bizonytalanság miatt eddig ez sem valósult meg. Maradt egyetlen lehetőség Kína, amely felé 2009-re létesült vezeték. Ezt azóta kétszer bővítették, így mára kapacitása eléri az évi 55 milliárd köbmétert.⁶¹

Kína szerepe egyre meghatározóbb a térség energiakészletének felhasználásában, amit a Közép-Ázsiából létesített olaj- és gázvezetékek is jól érzékeltetnek.



9. sz. ábra: Gáz- és olajvezeték Közép-Ázsiából ArcGIS Online, Concorde elemzés (2025).

A hálózatfejlesztések új szereplői

A földgázzal kapcsolatos geopolitikai játszma egyik főszereplője a gázelosztásban egyre jelentősebb szerephez jutó Törökország. A földgázvezetékek kiépítése számára egyúttal a türk térség egyesítésére irányuló törekvéseinek egy lépcsőfokát jelenti. Ezt szolgálja a Törökország, Azerbajdzsán, Kazahsztán, Türkmenisztán és Kirgizisztán által 2001-ben aláírt szándéknyilatkozat a kőolaj- és földgázszállítással kapcsolatos gazdasági együttműködésről.⁶²

2022-től az orosz vezetékek leállításával Törökország szerepe egyre fontosabb Európa gázellátásában. (Orosz gáz is már csak rajtuk keresztül jut el az EU-ba.) Törökország ezért lépéseket tesz a türk térség államaiból Európába tartó gázvezetékek befejezésének ügyében.

Az új központi elosztó szerepét Törökország igyekszik átvenni, nem is csak az orosz gázzal, hanem azerivel, az új – 2024-ben feltárt – szakirai török földgázmezővel, egyéb türk relációjú gázzal.

⁶¹ ArcGIS Concorde elemzés, letöltve 2025. 08. 21.

⁶² Miletics Péter: Ankara megér egy misét? Egyenlítő, 2007 (5. évfolyam, 1-12. szám)2007 / 6. szám 24. o. 22. o.

Gázvezeték építésből „mintegy 40 projekt fut a térségben, amelyben 11 amerikai cég vesz részt (mintegy 24 más nyugati és két orosz cég mellett). A befektetett tőke meghaladja a 100 milliárd dollárt.”⁶³ A francia Total jelentős gázlelőhelyeket tárt fel Azerbajdzsánban, majd több milliárd Euró értékű beruházásba kezdett Európába irányuló gázvezeték építése érdekében.⁶⁴ 2008-tól a német RWE energia-szolgáltató konszern és az osztrák OMV konszern is gázvezeték építését tervezte a Kaszpi-tengertől Európába.

Kína talán a legfontosabb résztvevője ennek a geopolitikai játszmának: „...néhány év alatt megépítette, és 2009-ben átadta a Türkeminisztánból induló, Üzbegisztánt és Kazahsztánt érintő több ezer kilométer hosszú vezeték, amely Közép-Ázsia szénhidrogén kincseit összeköti a belső kínai hálózattal.”⁶⁵ Napjainkban valamennyi közép-ázsiai országban van illetve létesítés alatt áll Kína felé haladó gázvezeték illetve olajvezeték.⁶⁶

Az orosz-ukrán háborúig az EU-ban felhasznált földgáz több mint 40%-a Oroszországból érkezett, mostanra ez az arány 8 százalékra mérséklődött.

Összegzés, bizonyosságok és bizonytalanságok

*A Szovjetunió felbomlása gyökeresen új geostratégiai helyzetet teremtett a közép-ázsiai térségben. Egyes elemzők szerint a 19. századi stratégiai versengés, a cári Oroszország és a Brit Birodalom „nagy játszmája” éled újjá, természetesen megváltozott szereplőkkel. Kínának az „új selyemútként” (BRI – Belt and Road Initiative – övezet és út kezdeményezés) ismertté vált megaprojektje és Törökország térségegyesítő törekvései elsősorban vasutak, cső- és távvezetékek kiterjedt hálózatfejlesztéseit foglalja magában, az áruk és energiahordozók szállításának, a kontinensen átívelő kereskedelem fejlesztésének az érdekében.*⁶⁷

⁶³ Wagner Péter: Hasonlóságok és különbségek a politikai iszlám tevékenységében Üzbegisztánban és Tádzsikisztánban a modernizáció időszakában (1917-2011). PTE PhD értekezés, Pécs, 2012. 76, 84. o.

⁶⁴ Hatalmas gázlelőhelyet talált a francia Total Azerbajdzsánban. <https://www.infogyor.hu/hirek/olvas/hatalmas-gazlelohelyet-talalt-a-francia-total-azerbajdzsanan-2012-07-03-124232> (2012. július 03.) illetve Interjú prof. dr. Hóvári Jánossal - Magyarország és a türk államok https://www.youtube.com/watch?v=CVVtNJZ8Tfg&ab_channel=CENTRUMTV (2024.02.06.)

⁶⁵ Wagner Péter: Hasonlóságok és különbségek a politikai iszlám tevékenységében Üzbegisztánban és Tádzsikisztánban a modernizáció időszakában (1917-2011). PTE PhD értekezés, Pécs, 2012. 76, 84. o.

⁶⁶ Kína magához láncolja Közép-Ázsiát - Gázvezetékekkel, utakkal, vasutakkal. https://oroszvalosag.hu/?t1=posztaszovjet_terseg_es_a_vilag&hid=4788

⁶⁷ Gyene Pál: Kína gazdasági felemelkedése és az „új selyemút” percepciói Közép-Ázsiában. Külügyi Szemle 17. évf. 2018. évi 3. sz. pp. 99-115.

Napjainkban megnőtt a szárazföldi (kontinentális) közlekedés szerepe. Ez Eurázsia vonatkozásában ma már nem csak folytatása a kontinensközi tengeri közlekedésnek, de bizonyos szegmensekben már konkurens is annak.

A TRACECA már az 1990-s években a Közép-Ázsiával való közlekedési-kereskedelmi kapcsolatok felgyorsítását célozta, építve az itt lévő országok természeti kincsekben és főképpen energiahordozókban megmutatkozó hatalmas forrásaira, és a globális kereskedelem igényére.

Vannak ugyanakkor a közép-ázsiai vasúti közlekedés fejlesztésének kritikus pontjai is:

1. Meglévő vasútvonalain a nyomtávolság az orosz vasutaknál ismert 1520 mm, míg az európai nyomtáv 1435 mm. Ez a csatlakozásoknál átrakási műveletet igényel, ami csökkenti az elérhető átlagsebességet és növeli a költségeket.
2. A Közép-Ázsián keresztül megvalósuló kereskedelem konkurensa a Transzibériainak, ami miatt ezt Oroszország fékezni, gátolni törekszik.
3. Közép-Ázsián keresztül a vonalvezetés elvileg északról megkerülheti a Kaszpi-tengert és a Fekete-tengert, de ez a terület Oroszország része. Délről e tengerek elkerülése Iránon keresztül lehetséges, ami etnikai feszültségekkel terhelt terület. Marad a Kaszpi-tengeren a kompátkelés a maga bonyodalmaival.

A világrend-változás jelenkori folyamataiban Közép-Ázsia országai önma-gukban is célországokká váltak, és ez szerepük dinamikus növekedését eredményezi. Nem zárható tehát ki, hogy az említett ideológia bázisán a közeli jövőben geopolitikai jelentőségű egységesülés következzen be, ami a Mackinder féle magterület délre tolódásának a lehetőségét sem zárna ki. Ezt a geopolitikai léptékű átalakulást jelenleg leginkább a vasúthálózat-fejlesztési lépések, valamint az energiahordozókat szállító olaj- és gázvezeték építő folyamatok szolgálják.

Bizonyosságok:

- Közép-Ázsia energia-hordozói globális szinten is jelentősek, amelyek Európa és Kína számára nem nélkülözhetők.
- Törökország dominanciája nő, Oroszország térségi szerepe visszaszorulóban van.
- Kína és Európa egyaránt érdekelt a gazdasági együttműködési erősítésében, a kereskedelmi kapcsolatok fejlesztésében.
- **A magterület elmélet valamilyen formában működni fog.**

Bizonytalanságok:

- Létrejön-e a Törökországgal és Azerbajdzsánnal kibővített térségben (pán-türk) politikai egység? Hogyan kapcsolódnak ehhez a folyamathoz a környező államok türk etnikumú lakossága?
- Kelet és Nyugat viszonyának alakulása, az Orosz Föderáció ebben játszott szerepe?
- Képes lesz-e Európa a térségben gazdasági érdekei érvényesítésére, vagy Kína fogja dominálni azt?
- Az orosz-ukrán háború kimenetele, a TRACECA 2a Ukrajnán át vezető változat sorsa?
- Az orosz-iráni, török-azeri földrajzilag egymást keresztező állampárok érdekütközéseinek alakulása?

Felhasznált irodalom

Anton Bendarzszevszkij – Eszterhai Viktor: Az „új nagy játszma” Közép-Ázsiában.

PAGEO Geopolitikai Kutatóintézet. <http://www.geopolitika.hu/hu/2019/01/22/az-uj-nagy-jatszma-kozep-azsiaban/>

Aslanov, Mirshohid – Komilov, Alouddin: Central Asia: The Once and Future Heart of Eurasia. Geopolitical Monitor, 2024. <https://www.geopoliticalmonitor.com/central-asia-the-once-and-future-heart-of-eurasia/> (Letöltés időpontja: 2024. 08. 01.)

Bányász, Péter; Orbók, Ákos (szerk.) Fejezetek a létfontosságú közlekedési rendszerelemek védelmének aktuális kérdéseiről Budapest, Nemzeti Közszerzői Egység (NKE) (2014)

Bernek Ágnes: Közép- és Kelet-Európa a 21. század geopolitikai/geoökonómiai stratégiáiban. Akadémiai Kiadó Zrt., Budapest, 2018.

Czene Gréta: Az Európai Unió válságkezelő tevékenysége a dél-kaukázusi térségben. NKE HDI, Budapest, 2012. 129-130. o.

Červonnaá, Svetlana: Pántürkizmus és pániszzlámizmus az oroszországi történelemben (40. oldal) 2000, 2006 (18. évfolyam) szeptember.

Colin Flint: Introduction to Geopolitics. Routledge, 2016. ISBN 9781138192164

Daniel Yergin: Változó világterkép - Energia, klíma és a nemzetek közti konfliktusok. MCC Press Kft., Budapest, 2023.

Hubai József: Geostratégiai gazdaságföldrajza https://publikaciotar.uni-bge.hu/318/1/2008_1_08.pdf

Dr. Erdősi Ferenc: Az új transzeurázsiai vasúti összeköttetések (I. rész) Közlekedéstudományi Szemle, 1999. 49. évfolyam, 7. szám

Erdősi Ferenc: Transzeurázsiai közlekedési kapcsolatok nagy- és középfatalmi erőterekben. Tér és Társadalom 29. évf., 2. szám, 2015 doi:10.17649/TET.29.2.2677

- Gazdag Ferenc (szerk.): Geopolitika és biztonság, Zrínyi Kiadó, Budapest, 2006,
- Gecse Géza: Orosz nagyhatalmi politika 1905-2021. Dialóg Campus, 2022. és Sz. Bíró Zoltán: Oroszország és belső-ázsiai expanziója
- Gyene Pál István: Rezsimstabilitás és hatalomgyakorlás a posztszovjet Közép-Ázsiában. PhD értekezés, BCE, Budapest, 2015.
- Gyene Pál: Kína gazdasági felemelkedése és az „új selyemút” percepciói Közép-Ázsiában. Külügyi Szemle 17. évf. 2018. évi 3. sz.
- Halász Iván: A tábornokok diktatúrái - A diktatúrák tábornokai. Fehérgárdista rezsimek az oroszországi polgárháborúban 1917-1920. ELTE Magyar Ruszisztikai Intézet. Budapest, 2005.
- Harangozó Dániel - Wagner Péter: Állam és hadsereg a posztszovjet Közép-Ázsiában: A fegyveres erők politikai és társadalmi szerepe. Politikatudományi Szemle 26 : 4 pp. 133-152. , 20 p. (2017)
- James Jay Carafano: Central Asia's Middle Corridor gains traction at Russia's expense. <https://www.gisreportsonline.com/r/middle-corridor/>
- Kelley, Hohn P.: Prussian Absorption of U.S. Lessons in the Military Uses of Railroads. Forth Laevenworth, Kansas 2022. <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1210300.pdf> (Letöltés időpontja: 2025. 01. 24.)
- Kaiser Ferenc: A blokád elmélete és gyakorlata a tengeri hadviselésben. Aetas, 2007. évi 4. sz.
- Krzyżanowska, Zuzanna: On the trail of the grey wolf: pan-Turkism in Turkey's foreign policy. OSW Commentary, Number 595, 2024, <https://www.osw.waw.pl/sites/default/files/OSW%20Commentary%20595.pdf> (Letöltés időpontja: 2024. 08. 01.)
- Lengyel Tamás (szerk.): Közlekedésföldrajz. <http://geografus.elte.hu/web/tananyag/3/ipar/gy/kozlfoldrajz.pdf>
- Makkay Lilla: Élénkülő forgalom a Selyemúton, avagy a „Nagy Játzsma” újabb fejezete Közép-Ázsiában Külügyi Szemle, 2009 (8. évfolyam) 1. szám.
- Mahan, Alfred Thayer: The Influence of Seapower upon History 1660-1783; Dower Publications, Inc. New York, 1987.
- Matus János: A biztonság, a gazdaság és a kölcsönös függőség problémái a nemzetközi kapcsolatok elméletének különböző irányzataiban. MTA Doktori Értekezés. Budapest, 2003.
- Miletics Péter: Ankara megér egy misét? Egyenlítő, 2007 (5. évfolyam, 1-12. szám)2007 / 6. szám 24. o. 22. o.
- Pap, Norbert - Reményi, Péter - Végh, Andor - Kitanics, Máté - Vati, Tamás: Geopolitikai szótár. PTE, Pévcs. http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/foldrajz7/geopolitikai_foldrajz/www/ch02.html
- Paul Goble: Central Asian Rail Deal Allowing China to Bypass Russia, Expand Trade with Europe. Eurasia Daily Monitor, Volume: 17 Issue: 56. 2020.
- Philippe Sébille-Lopez: A kőolaj geopolitikája (Géopolitique du pétrole). Armand Colin, 2006. ISBN 2-2003-4541-0

Rostoványi Zsolt: Közép-Ázsia: Pániszlamizmus vagy pántürkizmus? Beszélő, 2016. évi 4. évfolyam, 7. szám.

Stier Gábor A BIRODALOM FELÉRTÉKELŐDŐ HÁTSÓ UDVARA Oroszország komoly erőfeszítések árán őrzi közép-ázsiai befolyását. Pro Minoritate, 2006 (1-4. szám)2006 / 4. szám

Szászi Gábor: Nagyfolyami vasúti hidak, mint közlekedési létfontosságú rendszerelemek In: Horváth, Attila;

Philippe Sébille-Lopez: A kőolaj geopolitikája (Géopolitique du pétrole). Armand Colin, 2006. ISBN 2-2003-4541-0

Szilágyi István: A földrajz a történelem kulcsa - 150 évvel ezelőtt született Sir Halford J. Mackinder, a geopolitika klasszikusa. Magyar Tudomány 2011. évi 11. szám.

Sz. Bíró Zoltán: Az Orosz Birodalom Közép-Ázsiai terjeszkedése. Politikatörténeti vázlat, Világtörténet, 2008.

Turcsányi Károly - Hegedűs Ernő: Vasúti szállítás kontra tengeri szállítás: a Madrid-Jivu vasútvonal logisztikai és biztonságpolitikai szerepe - szállítási ágak közlekedés-stratégiai vizsgálata. Katonai Logisztika 2018. évi 3-4. szám 241-272. o. DOI: 10.30583/2018/3-4/241

Vasa László: The Long Struggle of Iran's Azerbaijani Community. CIRSD. <https://www.cirsd.org/en/horizons/horizons-spring-2024--issue-no-26/the-long-struggle-of-irans-azerbaijani-community> (Letöltés időpontja: 2025. 01. 25.)

Victor Kotsev: The Middle Corridor: Central Asia's rail independence vision Raliway Technology <https://www.railway-technology.com/features/the-middle-corridor-central-asias-rail-independence-vision/?cf-view&cf-closed> (2023.09.25.)

Wagner Péter: Hasonlóságok és különbségek a politikai iszlám tevékenységében Üzbegisztánban és Tádzsikisztánban a modernizáció időszakában (1917-2011). PTE PhD értekezés, Pécs, 2012.

Zbigniew Brzezinski: A nagy sakktábla - Amerika világelsősége és geopolitikai feladatai. Antall József Tudásközpont, Budapest, 2017.

Yang, Liu: Yiwu, Madrid run two commemorative cargo trains to mark 50 years of diplomatic ties. Global Times. <https://www.globaltimes.cn/page/202303/1286986.shtml> (Letöltés időpontja: 2025. 01. 23.)

Nyögvenyelős európai magyarságról – miért?

Ódor László

Budapesti Corvinus Egyetem

odorlaszlo2@gmail.com

Tisztelt, kedves Barátaim,

hogy természettudósok rangos körében, e patinás Társaság konferenciáján szabadon megszólalnia egy bölcsésznek, ez bámulatos és köszönnivaló kivétel; s bevallom, hogy magam voltam a kérelmezője e határátörő megszólalásnak. Mégpedig abban a meggyőződésben és reményben fordultam kérésemmel a Társaság, Társaságunk vezetéséhez, hogy ember és társadalom is tekinthető a természet, a teremtet világ részének. Sőt, merem állítani, hogy ember és társadalom akkor boldog, és akkor boldogul, ha a természet szabta irányban és módon járja útját. Ez a hitbéliség, a kálvinizmus teljes vállalásaként azt engedi megállapítani – hol máshol lehetne ezt merészen állítani, mint itt, a kálvinista Rómában, – hogy a predestináció, mint természetes folyamat útjelölője vonatkozik emberre és társadalmára is.

Hogy csak egy mellbevágó példát mondjak: az Európa körül ma tornyosuló válság fő oka – egyszerűen szólva – az, hogy nem követi az élővilág természetes rendjét. Vagyis hogy az európai ember nem óhajt szaporodni, vagyis folytatni a létét. Mintha most, a tavaszuló erdőben a leveleiket ősszel elhullató fák nem óhajtának rügyezni. Nem kérnének a jövő leveleiből. Vagy ősszel az amúgy megbokrosodó szarvasok csak élvezkedni, szexelni járnának a csinos özlánykák felé... hát persze, hogy emiatt elhal emberekben és társadalmaikban a boldogság és a kiüresedő terekbe benyomulnak egyéb élőlények: mások. Bevándorlók, migránsok.

A természet itt, ebben is példát mutat. A természettörténetben az élőlények – klimatikus változásoktól s egyéb életlehetőségeket befolyásoló tényezőktől, tragédiáktól függően – folytonos vándorlásban voltak. Miért volna ezektől független a mi élőlényünk, az ember? A magyar nép génjeibe olvadva viseli vándorlásának emlékét, a népvándorlás tudatának része, amivel a többi európai nép nem rendelkezik. Lényeges különbség ez az európai – a magyarsághoz képest valóban – őslakossághoz képest, melynek nincs vándorlástudata, mert nincs vándorlásemlékezete.

Van azonban az európai népek zömének más idegenségtudata: ez a gyarmatosítási menet történelmi terhe, melynek mai öröke más valóságot s vele más értékrend érvényesülését teremtette; az európai világ e tekintetben a 16. századtól kettészakadt, keletre és nyugatra: keleten s főként Magyarországon, a magyar

királyságban s a magyar tudatban a török uralma, a hódoltság új tartalmi pályára vitte (taszította, rekesztette!) a tudatot, ennek erős néplélektani következménye a negatív lét- és jövőlátás (lásd a himnuszokat, a magyart is!), nyugaton a felfedezésekkel, a gyarmatok létrejöttével a birodalmi állam, az Európától idegen, vegyes államiság jött létre; keleten az idegenség mint hódító veszély jelent meg, nyugaton az idegenség a gyarmatokkal való állami egységesülés természetes tartozéka. Azt, hogy indiai származású miniszterelnöke lehet egy országnak, mint Angliának, Európá keleti felén, így Magyarországon is, homlokráncolással fogadják.

S a muzulmán beáradásnak a 21. század elejétől különösen széles kaput nyitó Nyugat hasonlóan különböző útra tért, s ez forrásba hozza az Európa egységében (EU-ban) bízó embereket és közösségeket: népeket, országokat. A 16. századtól mindinkább kettévált kontinensünk, nyugaton a beáradó kincsek, a gazdagság örvében, a kapitalizmusnak nevezett társadalmi formációban mindinkább az anyagiasság, a jólét lett a központi szempont, még a nagyszerű művészi alkotások is ebben az anyagi fellendültségben, de gyakran éppen ennek ellenében születtek, keleten élt és máig él hatalmas ragyogásban a szellem, mint fő szempont, így történelmi gyökerekre kevés figyelmet szentelt és szentel a Nyugat és a történelmi létében, mítoszában él igazából a Kelet, Magyarország is, óhatatlanul csak feszengve, sőt: szorongva találta meg helyét az egységesülő Európában, s ma is, a korszakváltás konfliktusai közepette is nehezen találja helyét sok keleti ország, mi magyarok, a leginkább küzdünk nyugati ellenpárunkkal. Hogy nem új ez az elkülönülés, tessék csak olvasni Ady Endre verseit vagy Szabó Lőrinc Hazám, keresztény Európa című korszakos költeményét: száz éve írta, hogy “Száz év, de tán kétezer óta örült, mocskos, aljas világ ez, ez a farizeus Európa” s hosszú heves bírálata végén ez a haragos kérdés áll: “hazám, boldogtalan Európa, ha túlled a harcok végét, elbírod-e még te az Istent, a Szeretetet és a Békét?”

S vegyünk néhány konkrét példát, a hatalmas lexikatórból. A fogalmakban, szavakban, a gondolkodás fejtett kanyarjaiban óhatatlan az ütközés. A Nyugat nacionalizmusnak mondja azt, ami nekünk, magyaroknak a megtartó létezés érzelmi, sőt több: kulturális világa, a nemzet, aminek határokon túlnyúló létét irredentizmusnak tekintik (a Nyugat hatására mifelénk, a Kárpát medencében is, a 100 évvel ezelőtti állami fejleményeken nyerő népek, közösségek) s nem értik, elutasítják olyan fogalom és szó létét, mint magyarság. Tömegével támadnak életre, hangosan és erőteljesen, a magyarság fogalomközegében szavak, szószerkezetek, mint anyaország, határon túli magyarok, s Trianon uszályában olyan szavak, szókapcsolatok, mint elszakított részek, diktátum...mintha egy szigeten élne és gondolkodna egy nép, értetlenül és tanácstalanul egy olyan Európában, amely túlnyomóan föderatív léte dacára képtelen (volt) elfogadni a keletről jött nyugatias kérést is: Székelyföld Seklerland-voltát, jogilag, államszevezetileg – s ez nem a románok értetlensége miatt volt!

Jogállamiság, közös életvitel, történelemszemlélet és kultúra telisteli van fogalmakkal, melyek idegenek nyugaton s és fordított irányban is így van. Elkerülhetetlen egy szemantikai újraértelmezés, egységes gondolatkezelés kialakítása kontinensünkön, de feltétlenül a fennálló szervezeti (EU) kereten belül. Ehhez azonban szükség van arra a felismerésre, hogy az EU nem pusztán gazdasági, vagy egyre inkább politikai szervezet, hanem kontinensünk kulturális közössége – kellene, hogy legyen. Számos eszmei, szellemi, kulturális kapcsolat felderítése és fejlesztése (a megértés örvében!) lenne ehhez elkerülhetetlen. Alapvető Kehrtwende, fordulat a gondolkodásban: a globalizáló irány visszafordítása a legkisebb társadalmi sejt, a Heimat, felé.

Ezt diktálja – Európa alapvetően föderális szerkezetisége mellett – a természet rendje is volt, amihez kapcsolódik – mint az őzeknél – a közvetlen térhez való mély, ösztönös, természetes kötődés. Meghökkenve hallottam évekkel ezelőtt a Tisza áradásakor, hogy a medréből kiszakadó, rohanó víz elől az őzek nem életüket mentve egyenest, a víz elől szedik nyurga lábukat, menekülnek, csak-elfele, hanem életterükbe folyvást visszakanyarodnak s így vesznek végül a megáradt vízbe. Vagyis hűségük áldozatai. Életterükhöz ragaszkodnak.

Amikor a nemzetközi közéletben ez a teljes értelmében beszédes, fontos szó elhangzik, felvillan egy politikai vörös lámpa: Hitler használta ezt a szót: Lebensraum, s aki utána használja, az náci vagy legalábbis nácigyanús. Mint a magyar miniszterelnök, aki a Kárpát medence-beli kisebbségek kapcsán említette ezt a szót magyarul, s a német sajtó már másnap világgá kiáltotta, kiátkozta, pellingérré állította őt s vele az egész magyar világot. Rasszisták! Hasonlóképpen: hogy a keleti magyar tapasztalat és gyakorlat természetesnek veszi, hogy a mi világunkba betérő idegen otthon akar lenni ott, ahova bekéredzkedett. Vagyis a menekülő vagy bevándorló teljes befogadása az "asszimiláció"; Nyugaton ez a szó is a rasszista feliratú ládába kerül. Ebben a ma főkérdéssé avanzsált jelenségben is végzetes az ütközés. Európában az "élettér" vagy az "asszimilálni" szó tilalmával elvész lassan a fogalom is, az ősors, s vele az, ami természetes, elfelejtődik. Pedig a nyelv alapjaiban őrzi azt, ami aktuális politikai ostobaságból elveszett, hiszen németül létezik a die Heimat, ami a közvetlen közeli hazát jelöli, vagyis az életteret. A másik esetben a pótlékként használt integrálni szó nem tölti be a pótláshiányt. A magyar nyelvből a Heimat szó, de a nyugati értelemben használt integrálni szó hiányzik, legfeljebb jelzősítve mondjuk: szűkebb haza vagy beilleszkedni, ami nem azonos az integrieren-nel.

Már most szeretném előre bocsátani, hogy ez az emberlét predestináció elleni vétek, vagyis ha nem illeszkedik bele ember és társadalma a természet rendjébe, tágabb tartalmú bajt hoz reá: emberre és társadalmára. Olyan tartományokban is, melyek az emberlét pluszadományai. Például a tudatos létezés elemeivel

kapcsolatosan, főként a gondolkozás és alapanyaga, a nyelv vonatkozásában. Divatos fogalommal szólva: a kommunikáció tereiben. Amiben – nemzetközi tekintetben, hiszen ez ma a témánk: Európa – megint nyelvi példa segít: ha a communication nem működik, akkor nem jöhet létre igazi community, vagyis közösség, aminek következtében Európa mint fogalom, üres szemantikai doboz lesz, s benne a részei, a nemzeti toposzok kitöltetlenek, üresek. Erre alapul a címbe állított nyelvtörő jelző: hogy nyögvenyelős ma a magyar létezés Európában, hiszen a magyar nép olyan közösség, amelynek létfenntartó két eleme: a kultúrájának, kultúratudatának fő pillére: a történelem és a gondolat alkotója és megjelenítője: a nyelv. S e-mindkettő ijesztő hiányt mutat a mai Európában.

Könnyedebben szólva: kommunikációs, megértési zavarok IS okozzák mai európai létezésünket. Vagyis amit mondunk, nem értik meg, s amit ők (főként a gonosz Brüsszel) mi nem értjük meg. Hibázik a kommunikáció, így felsebeződik a community amúgy boldogságos érzése és tudata. Nyomatékosan szeretném közölni azt is, hogy nem politikai csevelyre akarom fecsecelni az ebben a nagyrabecsült körben rendelkezésre bocsátott csekély időmet. Nyelvészeti, művelődési-kognitív mélységbe szeretnék néhány példával lemerülni; hiszen a kimondott vagy leírt szavak a tényleges kommunikáció, megértés folyamatában igazából 10 %-nyi részt foglalnak el. Ezt az Eisbergeffekt fogalma fejezi ki: hogy ami a nyelv, a nyelviség az csak a jéghegynek a vízfelszín fölé emelkedő része; a kommunikáció lényegi része mint a jéghegynél, a víz alatti rész, a jéghegy 90 százaléka. S a másik előrejelzésem, hogy mint Debrecen egyik nagy bölcsének, Karácsony Sándornak a könyvében, a Magyar észjárás-ban a magyarnak a német nyelvvel, nyelviséggel és gondolatvilággal való különbözősége kerül előtérbe, jelen esetben is a német-magyar meg- illetve félreértés néhány esetével villantom csak fel európai otthontalanságunk okait.

Mert – kérem, rögzítsük mélyen tudatunkba, hogy – a magyar életérzés európai bejárata egészen Gizella bejövételétől fogva a németiség világa... ezért is öntudatrontó vétek (na de ez más krízisterület) idegennyelvoktatásunknak a létünkhöz kapcsolódó kultúra nélküli angol nyelvre való kapcsolása. Mintha – kedves földrajztudós barátaim! – a Dunát erőnek erejével a Csendes, vagy na jó: az Atlanti óceánba irányítanánk át, közvetlenül. A magyar európaiság igazi megértése csak a németbe torkolásakor lehetséges. Az igazi megértés alapfeltétele a hiteles, normális, természetes nemzetközi kommunikációnak.

Az Önök előtt álló természettudományi bölcsész négy szótárban illesztette össze e fogalmi kapcsokat, főként a német és a magyar nyelvi létezés között, a legutóbbit tudatosan és elszántan fulladásig mintegy két jéghegy között, mélyen a pusztasági kommunikációs vízszint alatt. Tessék nézni ennek az utolsó megértési kapcsolási kísérletnek, melyet már nem is annyira kultúrtörténész-nyelvész, ahogy németül mondják: Kulturkomparatist, hanem a gyakorló diplomata

szenvedélye alkotta (800 oldalon, a pusztá szótól a művészeti-bölcseleti kifejezésekig terjednek szócikkjei, abban a luthermártoni hitben és szellemi alapon, hogy “im Anfang war das Wort” – vagyis hogy “kezdetben vala a szó”). S az értelmében tisztázott szavakból felépülő nyelvi világ, mely nyelvenként különbözik, bontakozik ki a megértés, egymás megértése. Ennek, a lexikális, szemantikai különbözőségeknek szerves kiegészítői a nyelvszerkezeti és nyelvhasználati különbségek, melyek a gondolkozás módjában (a way of thinking-ben is) alaposan különböznek és a valódi, empatikus kommunikációt nehezebbé, vagyis a címhez ragaszkodva: nyögvenyelőssé teszik.

Hogy mit értek ezen? Engedjétek meg, barátaim, a rövid időmre tekintettel, egy gyors felsorolást. A magyar nyelv és a magyar nyelven gondolkozó ember egyediségére gondolok (Európában, az indoeurópai társaságában), ami azért és abban áll, hogy 1) magyar ember szabadon alakítja gondolatainak nyelvi kifejezését: a) a szórendnek meghatározó ura, pl: holnap mondom meg az igazat, holnap megmondom az igazat; kreatív kezelője a magyar nyelvnek, a képzők, a képzések világa lehetetlenül tág, 2) előre helyezi mindig a jelentést hordozó szót, a szavakat egymáshoz fűző viszonzyszavakat a szavak végén jelöli 3) a kimondott szó hajszálpontosan a leírt szóval egyidőben hangzik ez, s a gondolkodásban is: amire éppen gondol a beszélő, azt mondja ki, vagyis teljes. szinkron a gondolat és a nyelv között (“Ami szívemen, a számon.”) 4) a kommunikációban jelentős elem a csönd, a végződésekből kisugárzó utalás, a kimondatlanul is erősen létező elem, mint pl. Ismered Pétert? Nem, de szeretném megismerni. Tudom, hogy jeles ember. (itt a “Péter” a rejtett közös elem.) 5) Lényeges, jellemjelző tény, hogy a magyar nyelvben csak elvétve van passzívum, tehát zavarba ejtően nehéz személytelenül beszélni. Ez a bölcs beszédben vagy a diplomáciában fájdalmas hiány... 6) Éppen Debrecen tudósa, Karácsony Sándor tette azt a pszicho – és szociolingvisztikai megállapítást, hogy a magyar nyelv a magyar gondolkodás demokratikus jellegének a záloga: nincsenek alárendelt mondatai! Egyáltalán: csak a beszélő szándékának megfelelő mondatszerkezete van!

S végül főlemlitem azt, amit a végére szántam: szegény elhunyt barátom, Kányádi Sándor bölcs egysorosát, hogy: “Aki megért s megértet, egy népet megértet.” Diplomata létre készülő hallgatóimnak mindent ennek a költői mondatnak a jegyében, szellemében vések a tudatába: hogy dolguk ez lesz, s akkor lesz európai létezésünk is megnyugvásos, ha meg tudjuk értetni másokkal a magyarságot, a magyar gondolatokat, álláspontot, véleményt, és meg tudjuk érteni mások, a partnereink gondolatrendjét. Diplomata az, aki megért, s megértet...

Ezzel a címmel került nyomdába egy látomásaimat és tudós-diplomata vágyaimat összegező könyv, mely 80. születésnapomra fog megjelenni. Próbáltam egy előadásnyit belőle összekanalazgatni, de mindig túlfutottam az idő partjain. Inkább bevallva néhány szakaszát kiemelem, remény szerint megpendít-

ve európai otthontalanságunk néhány okát. Ez aztán egy nagy csalafintaság, amellyel tisztánlátás törekvéseinket gátolja – gonoszán-tudottan vagy éppen tudattalanul – a politika. Ami – hadd mondjam ki a tudósi fájdalmat – azért lehetséges, mert a politikusok a másikat legyőzni akarják, a magamfajta komplex bölcse, tudós-diplomata pedig a meggyőzésben hisz. (A németben nem is egy igetőre épül ez a különbség. A besiegen és az überzeugen szavak nem is utalnak egymásra...) Tehát mások és mások vagyunk, s népek közötti közvetítési próba (németül Herausforderung, ezt se tudjuk magyarra fordítani), ezen kell hogy átemeljen, átsegítsen minket, a megértéshez.

Nos íme, itt van egy másik példa: a mi – amúgy gazdag nyelvünkben – a megértés egyetlen szófogalom. Csak akkor ébredünk az egyetlen magyar szóban rejlő többretegűsége, ha a német jelentéseket mellé tesszük: a Verstehen a megértés, a Verständigung a megértés, mint cselekvés, és a Verständnis mint elfogadás, a másik helyzetével szembeni megértés érvényes. A kétnyelvű sablon-szótárainkban mindhárom szó mellett ugyanaz a szó áll: megértés.

Végül hadd kanyarodjam vissza ismét témámhoz, a címbe becsempészett módhatározószóhoz: “nyögvényelősen”. Hogy miért vagyunk mi, magyarok nyögvényelősen európaiak? Nem egészen kényelmesen, kissé folyton kényszerezdetten, nem-természetesen vagyunk európaiak? Gondoljunk csak köznyelvi szóhasználatunkra: “kimegyek a fiamékhoz Belgiumba, kint voltam egy hétig náluk.” Mint ha külön, elzárható térben volnánk, ahonnan kimegyünk Európába. Brüsszellel nem egészen európai-otthonos a kommunikációnk. Kicsit idegenek volnánk a saját kontinensünkön?

Egyik ide vágó témájú szótáramban, a bevezető, ajánló szövegébe becsúsztattam a tollamból, hogy “wir, Ungarn sind ewige Gäste in Europa”, bizony “örök vendégek vagyunk Európában. Kicsit folyton idegenek. S bizony nem véletlenül. Egyetlen nép vagyunk Európában”, akiknek szótárában s így fogalmi tudatában alapszó, kiindulási pont az ideérkezésünk szava: honfoglalás. Ez a szófogalom, ez az öntudat-darab nincs meg egyetlen mai európai nép tudatában sem. Európai létük előtörténete nincs szakaszoltan megjegyezve a tudatukban. A “honfoglalás” szó, mint cezúra a többi európai nép fogalomvilágában nem létezik. (Német szak- s főként diplomata kollégáimat szoktam egy góbés fél mosollyal megkérdezni: Wann seid Ihr nach Europa gekommen? Vagyis: hogy ti mikor jöttetek Európába? S erre a megdöbbenés teljes zavarával, de mindig pozitívan jön a válasz: “Daran hab’ ich aber nie gedacht?” Erre soha nem gondoltam...

Ez a bennünk erősen élő ideérkezés-tudat önmagában, s egész történelmünk fogalmaiban megmaradt máig: a kalandozásoktól a tatárjáráson és a török hódoltságon át Trianonig. S mindefölött egy sereg szófogalom – kognitívan – egyéni ízekkel él bennünk: a “Kelet” mintha elhagyott világunk volna (“Szent

Kelet vesztett boldogsága” Adynál) vagy újra Adynál a kimondott ukáz: hogy “Nyugat ellen Nyugatot hozz”, vagyis vágyunk, örök vágyunk van: otthon lenni végre valahára a kontinensünkön. S diplomáciai emléktáramból ezer példát tudok hozni, miért és miként néznek ránk az őseurópaiak idegenül: “da unten an der Donau”, vagyis: ott lent a Dunánál, ti, magyarok, hogy gondoltjátok; minek, milyennek, csodabogaraknak látnak minket, igazán: az őslakosöntudat magasából. Hogy mi magyarok idejöttünk, bevándoroltunk és itt vagyunk: azonos-ság-szándékunkkal de mégis folytonos különbözőségünkkel, másságunkkal. S nemcsak a nyelvünk miatt, noha a magyar nyelv varázsos különvalóságában eleve különrekeszt, s vele a pontosan még általunk sem ismert, jobbára inkább heveny büszkeséggel emlegetett egyéni, magyaros észjárásunk, rengeteg Európa-idegen szokásunk, emberi, közösségi attitűdünk, sírásunk-mosolyunk, kultúránk, vagyis értékrendünk idegen itt, Európában.

Diplomáciánk dolga volna ezt finoman, egyedien megértetni, azzal a reális céllal, hogy a magyar másság, gondolati, értékrendbeli, kulturális egyediség, ha más is, és éppen ezért: európai gazdagodás. És eleve: híd, kapcsolat-lehetőség a globalizálódó világban kinyíló valósághoz. Amikor a dél-kóreai nagykövet egy ünnepi ebéden a széles diplomáciai társaság előtt így köszöntött minket: “the Hungarians, our only relatives in Europe”... a magyarok egyedüli rokonaink Európában..., felöltik a figyelő magyarban, meg a szolgálatában lojálisan hű diplomatában is a kérdés: jól, jogosan használt szó a politika világunkban “keleti nyitás”-t emlegetnünk? Ez nem “keleti nyitás”, ami a politika kiáltása.

Mert: a keletiség ténye mélyen ül a tudatunkban, távolról sem újdonság, hiszen gyermekkorunktól fogva rakódnak belénk ennek részei: tudatunk rétegei: megannyi sajátos magyar egyediség, esetleg keleti gyökérrel, Európában. Hunor és Magor története egyetlen népnek sincs Európában. Attila megfjetlen legendája nem terheli Európa egyetlen nyugati népét sem. Csaba útja a távolból más népnek Európában nem ígér segítséget, mágikus fényét csak mi látjuk. És érezzük.

A magyar tudománynak is dolga volna ez: ebbe a megértés-folyamatba be-dolgozni. A történelemtudomány, a művelődéstörténet, a nyelvészet, a mindent átfogó humán antropológia, de még az ezerágú, lebilincselően színes földrajztudomány tagjai is mintha különálló hűvös szobákban üznék tudós tevékenységüket, hiába divatos szó ma a geopolitika...de a közélet, a közügyintézés pódiuma-itól, mondjuk ki: a politikától el van vágva ez a tudós világ. Pedig jó egy évtizede van Magyarságkutató Intézetünk.

A végén azért hadd idézem ismét Kányádi Sándor mindentkimondó egy-sorosát, reménykedve, hogy a magyarság egyszerre, végre valahára otthonra talál Európában (de milyenben?) “Aki megért s megértet, egy népet megéltet.”

Istenem, Európánkra s kis hazánkra gondolva, kérem, hogy így legyen!

Bizonyosságok és bizonytalanságok az algológiában, avagy amitől még a szent dolgok is félremennek

Grigorszky István

Debreceni Egyetem, TTK, Hidrobiológiai Tanszék

grigorszky.istvan@science.unideb.hu

Lassan egyértelművé válik, hogy bármi is történik a Föld nevű bolygón, az emberi faj helye és az élővilág többi részével való kölcsönhatása egyetemes aggodalomra ad okot. Megoldást a tudománytól várnak – vagy már nem is várnak? De miért jutottunk el odáig, hogy egyre többen elfordulnak a tudománytól? Történeti áttekintésben azt láthatjuk, hogy azokban az időszakokban, amikor a tudomány komolytalanná, közönségesse vagy egyszerűen haszontalanná vált, a társadalom inkább távol maradt tőle.

Ma a bizonytalanságok uralják a tudományt a bizonyosságok rovására. Ezt számos példán keresztül láthatjuk. A klimatológiában a globális modellek jól jelzik a trendeket, de a regionális szintű hatásoknak – például a Kárpát-medence szélsőséges időjárási eseményeinek – az előrejelzésében még mindig nagy a bizonytalanság (IPCC, 2021). Az orvostudományban a COVID-19 járvány rámutatott, hogy a kezdeti előrejelzések és intézkedések sokszor egymásnak ellentmondtak, ami erodálta a társadalom bizalmát (Nature Editorial, 2020). A biodiverzitás-kutatásban a Föld teljes fajszámát 5–30 millió közé becsülik, miközben alig 2 milliót írtak le, így a bizonytalanság messze meghaladja a biztos ismereteket (Mora és munkatársai, 2011). Az ökotoxikológiában a mikroműanyagok és gyógyszermaradványok vízi ökoszisztémákra gyakorolt hatásairól szóló tanulmányok gyakran egymásnak ellentmondó információkat közölnek, a drámai hatásoktól a kimutatható válasz hiányáig (Li és munkatársai, 2020). Az algológiában is tapasztaljuk, hogy a morfológiai és a molekuláris alapú taxonómia eltérő eredményeket adhat ugyanarra a csoportra (Guiry, 2012). Sőt, még a táplálkozástudományban is jól látható ez a jelenség: az étrendi ajánlások évtizedenként változnak, sokszor egymásnak ellentmondó kutatási eredmények alapján (Mozaffarian, 2016). De miért alakult ki ez a helyzet a 21. században?

A tudományos kutatás olyan szaktudást, tapasztalatot és képességeket igényel, amelyeket hosszú évek tanulása, gyakorlása és elmélyülése során lehet megszerezni. Ezért nem válhat senki egyik napról a másikra kutatóvá – a folyamat időt, türelmet és elkötelezettséget kíván. A 20. és 21. század azonban kialakított egy olyan társadalmi-gazdasági-kulturális „ökoszisztémát”, amelyben nincs elegendő idő és elköteleződés. A kutatói pályák felgyorsulása, a „publish or perish” kényszer és az azonnali eredményorientáltság miatt sok fiatal tudós

úgy kerül a rendszerbe, hogy nincs elegendő terepi vagy laboratóriumi tapasztalata (Nicholson és munkatársai, 2022). Mindezt tovább súlyosbítja, hogy az újabb generációk gyakran nem rettennek vissza a tévedéstől, sőt olykor attól sem, ha – akár jó szándékkal – megalapozatlan vagy valótlan állításokat tesznek. Úgy vélik, hogy nincs következménye annak, ha a vízminőségi problémákra javasolt megoldásaik nem hozzák a várt eredményeket: majd kidolgoznak egy újabb koncepciót. Ezzel azonban – szándékukon kívül – éppen a szűkebb szakterület értékét, hitelességét és presztízsét kezdik ki. Másrészt találkozunk azzal az ellenkező vélglettel is, amikor a túlságosan óvatos kutatók már nem mernek gyakorlati megoldásokban gondolkodni, és tevékenységük lényegében cikkek gyártására korlátozódik. Így mindkét irányzat – a túlzott magabiztosság és a túlzott óvatosság – a szakmai bizonytalanságot eredményezi, és így még a kiváló képességű kutatók tudása, készségei és potenciálja nem tud kellő mértékben hasznosulni.

Mindezek egyik legsúlyosabb következménye a tapasztalatbeli hiányosság, amely trendszerűen megfigyelhető a 20. és 21. század kutatásaiban – így az algológiaiában is. Egyre gyakrabban tűnnek fel olyan „szakértők”, akik kizárólag meglévő adatbázisokra és statisztikai módszerekre támaszkodnak, anélkül, hogy valaha ténylegesen foglalkoztak volna az adott algafajjal vagy algaközösséggel. Gyakori, hogy a publikáció elkészülte után az illető többé nem tér vissza ahhoz a csoporthoz, amelyről írt. Előfordul az is, hogy valaki anyanyelvére lefordít egy alghatározót úgy, hogy sem előtte, sem utána nem folytat beható kutatásokat az adott taxonómiai csoporttal kapcsolatban. Bár az ilyen típusú munkák a tudományos előrehaladás részei lehetnének, valójában gyakran inkább az önéletrajz gyarapítását szolgálják, semmint a szakterületi tudás tényleges bővítését. Rövid távon látványos eredménynek tűnnek, hosszabb távon azonban hibás elméletek megalkotásához és félrevezető következtetésekhez vezetnek.

Induljunk el az alapoktól. Az algológiaiában a legnagyobb probléma a fajokra vonatkozó megbízható ismeretek hiánya. Kevés tanulmány vizsgálta a fajok azonosításának pontosságát, pedig ennek hiányában minden további elemzés ingatag alapokon áll. A páncélos ostoros algák (*Dinophyta*) esetében például a hetvenes években az azonosítás pontossága 82% körül mozgott, ám a kilencvenes években 50% alá csökkent (Taylor, 1993). A kétezres években a publikációk 85%-a már nem tartalmazott fotót vagy rajzot, így a későbbi ellenőrzés lehetetlenné vált. Az adott algacsoporttal huzamosabb ideig foglalkozó szakértők általában jóval megbízhatóbban azonosítanak, mint a kizárólag könyvekből tanulók. Ha pedig már a fajok azonosítása is bizonytalan, hogyan építhetünk stabil ökológiai modelleket?

Tovább nehezíti a helyzetet, hogy a jelzésértékű, de, ritkább fajok lassan eltűnnek a fajlistákból. Azok a kutatók, akik soha nem foglalkoztak mélyebben az adott csoporttal, egyszerűen nem ismerik fel ezeket a taxonokat. Sok esetben nem merik beírni a fajlistába – inkább egy hozzájuk nagyjából hasonló, jóval gyakoribb fajként tüntetik fel őket.

Az egymáshoz morfológiailag közel álló fajok esetében – gyakran esetlegesen és következtetlenül – egy adott példányt egyik vagy másik fajnévvel látnak el. Mindez különösen problematikus, hiszen később statisztikai elemzések épülnek ezekre az „adatokra”, amelyek így valójában bizonytalan, helytelenül azonosított fajok elterjedését és előfordulási mintázatait próbálják magyarázni. Gyakori az is, hogy sok taxont meg sem határoznak fajsinten – még akkor sem, ha éppen tömegesek –, ennek ellenére a vizsgált közösségekre statisztikai alapú értékeléseket készítenek. A helytelen vagy hiányos taxonómiai alapok következménye, hogy e csoport tekintetében a jelenlegi tudásunk és adataink megbízhatósága sok szempontból nem éri el a 19. század végének és a 20. század közepének megfelelő színvonalat.

Ha nem ismerjük a közösséget alkotó fajokat, nem tudjuk megérteni azok ökológiai szerepét. Egyes fajok kulcsfajként funkcionálnak: például a *Microcystis aeruginosa* toxintermelése a teljes planktonközösség dinamikáját képes jelentősen befolyásolni (Paerl és Otten, 2013). Hasonlóan meghatározó szerepük van a szilíciumhoz kötődő kovaalgáknak, amelyek döntően befolyásolják a globális szénmegkötést (Falkowski és munkatársai, 2004). Az alapos taxonómiai munka hiánya tehát nemcsak tudományos, hanem gazdasági és társadalmi kockázatokat is hordoz.

Állandóan azt halljuk, hogy nincs elegendő innováció, amely nélkülözhetetlen a jövőnk szempontjából. Azt viszont kevesen említik, hogy az innováció egyik fő gátja éppen a tapasztalat hiánya. Ha a tudomány művelői nem rendelkeznek elegendő, valóságos adatokon alapuló tapasztalattal, akkor eredményeik nem reprezentálják a valóságot, és így nem lesznek a gyakorlatban hasznosíthatók. Például az ökoszisztéma-szolgáltatások értékelésekor a pontatlan algológiai adatok félrevezethetik a döntéshozókat a víztestek állapotának megítélésében (Grizzetti és munkatársai, 2016). Az innovációhoz szükséges valódi tudás tehát nem helyettesíthető adatbázisokkal vagy algoritmusokkal, hanem alapos terepi és laboratóriumi munkára épül.

A rohanó világban nem szabad elfelejtenünk, hogy tudományos kutatóvá válni hosszú folyamat, amely számos készséget, tapasztalatot és tudást igényel. A gyakorlati kutatás hibákon és próbálkozásokon keresztül történő tanulásra épül, amit nem lehet gyorsan megszerezni. A kutatás gyakran váratlan akadályokat hoz, amelyeket csak tapasztalat útján lehet hatékonyan kezelni. A kri-

tikai gondolkodás, a hipotézisek újraértékelése, az ellentmondó eredmények feldolgozása mind időigényes intellektuális folyamatok. A társadalom gyakran hátrányként értelmezi e lassúságot, valójában azonban ez garانتálja, hogy a tudomány képes legyen minimalizálni a bizonytalanságokat.

A tudományos érettség nem csupán a technikai tudás elsajátítását jelenti, hanem a szakmai alázat kialakulását is. Aki évekig figyelni ugyanazon élőlény-csoport változásait, megtanulja elfogadni, hogy a természet nem mindig illeszkedik az előzetes elméletekhez. Ez a tapasztalat tanítja meg a kutatót arra, hogy a váratlan adatokat ne hibaként, hanem a valóság újabb rétegeinek feltárásaként kezelje. Az intellektualitás, a tapasztalat és a szakmai alázat szorosan összekapcsolódnak az algológiai kutatásban. Az intellektuális készségek – az adatok elemzése, hipotézisek megfogalmazása, összefüggések felismerése – adják a kutatás elméleti keretét. Ez azonban önmagában kevés: az algák világa rendkívül változatos és plasztikus, ahol a morfológiai jegyek környezeti feltételek hatására jelentősen módosulhatnak. Az elméleti tudást ezért ki kell egészíteni a terepi és laboratóriumi tapasztalatokkal. A szakmai alázat ebben kulcsfontosságú, mert segít elengedni a téves előfeltevéseket, és elfogadni a természet komplexitását. Az algák kutatása különösen érzékeny terület, hiszen alapvető szereplői az ökoszisztémák működésének, ugyanakkor rendkívül nehezen vizsgálhatók. Egyetlen taxon téves azonosítása vagy egy fontos faj ökológiai szerepének figyelmen kívül hagyása könnyen torzíthatja a teljes közösség viselkedésének értelmezését. Az intellektuális elemzőkészség itt találkozik a terepi tapasztalattal, és az így szerzett tudást csak a szakmai alázat képes egyensúlyban tartani.



A Balatonban előfordul a páncélos ostoros algák két érdekes testalkatú és elég hasonló kinézetű faja, a *Ceratium hirundinella* (balra) és a *C. furcoides* (jobbra), de pontos elkülönítésük azért fontos, mert jelenlétük nem ugyanazt jelenti hidroökológiai szempontból.

Végső soron az algológiában – és más tudományterületeken is – a valódi tudományos előrehaladás nem pusztán a gyors publikációkon vagy statisztikai elemzéseken múlik. Inkább azon, hogy a kutató képes-e hosszú éveken át intellektuális kíváncsisággal, gyakorlati tapasztalatokkal és alázatos hozzáállással közelíteni a gyakran megtévesztően sokszínű algavilághoz. Ez a hármas – intellektualitás, tapasztalat és alázat – teremti meg azt a szilárd alapot, amelyre a jövő algológiai ismeretei biztonsággal épülhetnek.

A felhalmozódó tapasztalat közösségi tudást is teremt. A hosszú távú, több generációs kutatások adják a keretet ahhoz, hogy a tudomány építkezni tudjon. Ha egy kutató nem fordít éveket egy algacsoport vagy ökoszisztéma mélyreható vizsgálatára, akkor nem alakulhat ki az a tudásbázis, amelyre a következő nemzedék építhet. A gyors publikációk világában hajlamosak vagyunk elfelejteni, hogy a nagy tudományos áttörések döntő része évtizedes, aprólékos munkán alapult. A tudomány lassúsága nem gyengeség, hanem erény: a fokozatos építkezés biztosítja, hogy az eredmények szilárd alapokon álljanak, és valóban hozzájáruljanak a világ működésének jobb megértéséhez.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a tapasztalatbeli hiányosságok kiküszöbölése kulcsfontosságú a tudományos fejlődés szempontjából. Ha nem fektetünk energiát a terepi és a laboratóriumi tapasztalatok gyűjtésébe és a taxonómiai ismeretek bővítésébe, akkor a környező világ működéséről alkotott kép fokozatosan torzulni fog. Ez pedig ahhoz vezethet, hogy már arra sem lesz elég tudásunk, hogy felfogjuk: mennyire kellene aggódnunk.

Irodalom

- Falkowski, P. G., Barber, R. T., & Smetacek, V. (2004). Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science*, 281(5374), 200–206.
- Grizzetti, B., Lanzanova, D., Liqueste, C., Reynaud, A., & Cardoso, A. C. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science & Policy*, 61, 194–203.
- Guiry, M. D. (2012). How many species of algae are there? *Journal of Phycology*, 48(5), 1057–1063.
- Hegewald, E., Wolf, M., Keller, A., Friedl, T., & Krienitz, L. (2010). ITS2 sequence–structure phylogeny in the *Scenedesmus/Desmodesmus* group (Chlorophyta, Chlorophyceae): Taxonomic implications and nomenclatural consequences. *Phycologia*, 49(4), 361–367.
- IPCC (2021). Climate Change 2021: *The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

- Ioannidis, J. P. A. (2005). Why most published research findings are false. *PLoS Medicine*, 2(8), e124.
- Ioannidis, J. P. A. (2018). Meta-research: Why research on research matters. *PLOS Biology*, 16(3), e2005468.
- Li, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. (2020). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the Total Environment*, 566–567, 333–349.
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G. B., & Worm, B. (2011). How many species are there on Earth and in the ocean? *PLoS Biology*, 9(8), e1001127.
- Mozaffarian, D. (2016). Dietary and policy priorities for cardiovascular disease, diabetes, and obesity: A comprehensive review. *Circulation*, 133(2), 187–225.
- Nature Editorial (2020). Science must stay at the heart of pandemic response. *Nature*, 581, 7–8.
- Nicholson, J., Pollock, J., & Wintle, B. (2022). The career precarity of early-career researchers. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3, 355–357.
- Paerl, H. W., & Otten, T. G. (2013). Harmful cyanobacterial blooms: Causes, consequences, and controls. *Microbial Ecology*, 65(4), 995–1010.
- Sarewitz, D. (2016). Saving science. *The New Atlantis*, 49, 4–40.
- Taylor, F. J. R. (1993). The species problem and its impact on harmful algal taxonomy. In: *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea* (eds. Smayda, T. J. & Shimizu, Y.), Elsevier, 81–86.

A konferencia elnöksége





Demeter András

Kerekes Sándor



Grigorszky István

Miklóssy Ildikó





Magura Tibor
Szekanecz Zoltán



Ódor László
Szép Tibor





Miklóssy Ildikó és Tonk Szende

Ódor Katalin és Turcsányi Károly





Rácz András és Dévai György
Gőri Szilvia és Kapocsi István

Szlávik Lajos

