



**ACTA UNIVERSITATIS
DE CAROLO ESZTERHÁZY NOMINATAE**

SECTIO BIOLOGIAE | TOM. L.

REDIGIT:
ZSUZSA EMRI

EGER, 2026

Az „Acta Universitatis de Carolo Eszterházy Nominatae” a IV. sorozata és folytatása az „Acta Academiae Paedagogicae Agriensis” (I. sorozat 1955–1962), az „Acta Academiae Paedagogicae Agriensis. Nova series” (II. sorozat 1963–2008), illetve az „Acta Academiae Agriensis. Nova series” (III. sorozat 2009–2017) tudományos közleményeinek.

AZ ESZTERHÁZY KÁROLY KATOLIKUS EGYETEM TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEI

L. KÖTET

TANULMÁNYOK A BIOLÓGIAI Tudományok KÖRÉBŐL

A KÖTETET SZERKESZTETTE
EMRI ZSUZSA

EGER, 2026

**ACTA UNIVERSITATIS
DE CAROLO ESZTERHÁZY NOMINATAE**

TOM. L.

SECTIO BIOLOGIAE

REDIGIT:
ZSUZSA EMRI

EGER, 2026

A szerkesztőbizottság elnöke:

Dr. habil. Emri Zsuzsa
főiskolai tanár

Szerkesztőbizottság:

Dr. Antal Károly – főiskolai docens
Dr. Arabadzisz Dimitrula – neurobiológus, viselkedéselemző, magánpraxis, Budapest
Dr. Bóka Beáta – főiskolai docens
Dudás György – címzetes egyetemi docens
Dr. Varga János – főiskolai docens
Dr. Vojtkó András – főiskolai tanár

A kötetben megjelent tanulmányok bírálói:

Dr. Dulai Sándor – főiskolai tanár
Dr. Emri Zsuzsa – főiskolai tanár
Prof. dr. Orbán Sándor – prof. emeritus, az MTA doktora
Prof. dr. Pócs Tamás – prof. emeritus, az MTA rendes tagja
Szalay Krisztina – egyetemi tanársegéd
Dr. Varga János – főiskolai docens

ISSN 2732-0480

A kiadásért felelős

az Eszterházy Károly Katolikus Egyetem rektora
Megjelent az EKKE Líceum Kiadó gondozásában

Kiadóvezető: Dinnyés Patrik

Felelős szerkesztő: Kuser Judit

Nyomdai előkészítés, borító: Molnár Gergely

Technikai szerkesztő: Horotán Katalin

Megjelent: 2026-ban

Példányszám: 50

Készült az Eszterházy Károly Katolikus Egyetem nyomdájában, Egerben

Felelős vezető: Kérészy László



TARTALOMJEGYZÉK

TANULMÁNYOK	7
ORBÁN SÁNDOR, EGERVÁRI JÚLIA Az antropocén korszak értelmezése és pedagógiai jelentősége – A környezeti nevelés megújuló módszerei	9
SASS -GYARMATI ANDREA A mohák funkcionális ökológiája trópusokon: Funkcionális jellegek, mikrobiom és ökológiai szerepek integrálása.....	31
HOROTÁN KATALIN, TÁBORSKÁ JANA Az elérhető természet szemlélete városi kertekben: A kertünk világa oktatási program bemutatása	51
UJFALUDI LÁSZLÓ Terraformálás – idegen bolygók lakhatóvá tétele	65
HÁGEN ANDRÁS Az evolúció kaotikus elemei.....	77
HÍREK, ESEMÉNYEK Beszámolók egyetemi rendezvényekről, tanulmányutakról, terepgyakorlatokról.....	91
PÉNZESNÉ KÓNYA ERIKA Darwin „Gyökér-Agy” elmélete.....	93
SZÜCS PÉTER, RÓZSA SÁNDOR, MARSCHALL MARIANNA Moharegenerációs vizsgálatok Északkelet-Magyarországon (Előzetes eredmények)	94

AMMAR ALLEM, TARNAI RÉKA, B. TÓTH SZABOLCS ÉS DULAI SÁNDOR	
Közép-Európában és a mediterrán Észak-Afrikában termesztett búzafajták hőmérsékleti stabilitásának vízhiányra és sóstresszre adott fotoszintetikus válaszai.....	95
EMRI ZSUZSA	
Fiziológiai paraméterek felhasználása az oktatás monitorozására	97
ESTÓK PÉTER	
Az Északi-Középhegységben folytatott denevérkutatások újabb eredményei	99
SZEDERJESI TÍMEA	
Lassú munkához idő kell: Egy katalógus története és a zoológiai gyűjtemények jelentősége egy taxonómus szemével	100
GYÖRÖSSY DOROTTYA, GYÖRÖSSY KRISZTINA	
Denevérkutatás és teknősmentés a nagykorallzátony mentén	102
MÉSZÁROS TÍMEA	
Az európai vadmacska (<i>Felis Silvestris</i>) mameracsapdás vizsgálata területfoglalási modellek segítségével a Bükk hegységben.....	104
SZALKAI FRUZSINA	
A Sphagnum (Tőzegmoha) fajok elterjedési viszonyai Madagaszkáron és Réunion szigetén herbárium példányok és a szakirodalmi adatok alapján.....	106
RÓDE LEA	
Mikroöledek bioaktív komponenseinek és antioxidáns-kapacitásának vizsgálata eltérő kezelési körülmények között	108
CSULIK LEILA	
Az európai vadmacska (<i>Felis Silvestris</i>) és a házimacska (<i>Felis Silvestris Catus</i>) koponyamorfológiai összehasonlító vizsgálata ct-felvételek segítségével	110

GROS CH-HORVÁTH EVELIN

Delfinek kommunikációjának összehasonlító vizsgálata 112

DÉKÁNY GERGELY

Nagyvadfajok kameracsapdás vizsgálata napi aktivitásmintázatok segítségével a Bükk hegységben 113

MUKUS GÁBOR

Nagyvadfajok kameracsapdás vizsgálata napi aktivitásmintázatok segítségével a Bükk hegységben..... 114

BENKE ANNAMÁRIA

Neuromodulátorok dinamikájának vizsgálata probabilsztikus tanulási paradigma során, szálfotometriás mérések segítségével egerekben 116

OLÁH LÁSZLÓ ISTVÁN

Összehasonlító faunisztikai vizsgálatok az egerszalóki termálvizek élővilágán 118

A „REGŐS JÁNOS TEREM” AVATÁSA..... 121

TANULMÁNYOK

ORBÁN SÁNDOR, EGERVÁRI JÚLIA

AZ ANTROPOCÉN KORSZAK ÉRTELMEZÉSE ÉS PEDAGÓGIAI JELENTŐSÉGE – A KÖRNYEZETI NEVELÉS MEGÚJULÓ MÓDSZEREI

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Neveléstudományi Doktori Iskola,

Környezetpedagógia, Eger

e-mail: orban82@gmail.com, egervari.julia@uni-eszterhazy.hu

Absztrakt

Az antropocén a holocént felváltó új földtörténeti kor, amelyben az ember környezetátalakító hatása a domináns, meghaladja a környezet önmagára gyakorolt hatását, és amelyben már aligha beszélhetünk valódi természetes környezetről. Az ember okozta hatások közé tartozik az éghajlatváltozás, valamint a szén, a nitrogén és a foszfor körforgásának nagymértékű változásai. Tanulmányunk összefoglalja az emberiségnek a földi környezetre gyakorolt hatását, valamint a Föld válaszát a környezet ember általi módosítására. Mivel ezen ökológiai változások nagy részét az emberiség okozza, kötelességünk helyrehozni az okozott ökológiai károkat, hogy élhető környezetet biztosítsunk a jövő generációi számára.

A tanulmányban összefoglaljuk az antropocénnel kapcsolatos nézeteket, és javaslatokat teszünk a túlélési stratégiákra vonatkozó pedagógiákra (fenntarthatóság, hulladékgazdálkodás, demográfiai robbanás, sötét pedagógia). Röviden kitérünk a bolygóközi migráció lehetőségére és az ezzel kapcsolatos kutatásokra is.

Kulcsszavak: antropocén korszak, környezetpedagógia, sötét pedagógia, transzdiszciplináris modellek

SÁNDOR ORBÁN, JÚLIA EGERVÁRI

INTERPRETATION AND PEDAGOGICAL SIGNIFICANCE OF THE ANTHROPOCENE ERA – SUSTAINABILITY- FOCUSED ENVIRONMENTAL EDUCATIONAL METHODOLOGY

*Doctoral School of Education, Eszterházy Károly Catholic University, Environmental
Education Program, Eger
e-mail: orban82@gmail.com, egervari.julia@uni-eszterhazy.hu*

Abstract

The Anthropocene, a new era in the history of the Earth, is replacing the Holocene, as the transformative impact of humans on the environment is so great that it exceeds the impact of our environment on itself, and we can hardly talk about a real natural environment anymore. Human-induced impacts include climate change and large-scale changes in the cycles of carbon, nitrogen and phosphorus. Our study summarises the impact of humanity on the Earth's environment, and the Earth's response to human modification of the environment. Given that much of these ecological changes are caused by humanity, humans have an obligation to repair ecological damage so that the environment remains a livable place for future generations. We will summarise the views on the Anthropocene and propose pedagogies for survival strategies (sustainability, waste management, demographic explosion, dark pedagogy). We will also mention in a few words the possibility of an interplanetary migration and the research on this.

Keywords: anthropocene era, environmental pedagogy, dark pedagogy, transdisciplinary models

Bevezetés

Az antropocén kor egyik alapvető sajátossága, hogy az emberi tevékenység olyan mértékben alakítja a bolygó rendszereit, hogy hatása már meghaladja a természet önszabályozó folyamatait (CRUTZEN, 2002). Az ökoszisztémák egyre kevésbé működnek független, önálló rendszerekként: az emberi beavatkozás nyomot hagy a légkörben, a talajban, a vízkörforgásban és az élővilág szerkezetében is. A kérdés nem csupán az, hogy mikor kezdődött az antropocén korszak, hanem hogy hogyan értelmezzük azt – geológiai, ökológiai és kulturális értelemben egyaránt.

Az emberi hatás egyik mérhető következménye az ökoszisztéma-szolgáltatások változása, amelyek az élő rendszerek és az emberi társadalmak közötti kapcsolatokat írják le. Ezek a rendszerek nemcsak ellátó és szabályozó funkciókat töltenek be (például élelmiszer-termelés vagy éghajlat-szabályozás), hanem mentális, esztétikai és kulturális hatással is bírnak (KOVÁCS et al., 2011). A kulturális ökoszisztéma-szolgáltatások – például a táj identitásképző szerepe vagy a természet spirituális jelentősége – különösen fontosak, hiszen az ökológiai változások nemcsak a környezetünket, hanem a róla alkotott képünket és önazonosságunkat is formálják (EGERVÁRI & ORBÁN, 2022).

A 20. század közepén találunk egy olyan „geológiai réteghatárt”, amely világosan elkülöníti a holocén korszakot a legújabb, azaz az antropocén korszaktól. Az alumínium és a műanyag elterjedése, a lakosságszám drasztikus növekedése, a globális felmelegedés elindulása, az antropogén klímaváltozás kezdete, a fokozódó fajkihalások ekkor indultak el és azóta is tartanak folyamatosan. A holocénhez, ehhez a 11 ezer éven át stabil korhoz képest tapasztalt eltérések jelentősek.

Ugyanakkor az antropocén nemcsak egy geológiai korszak, hanem egy pedagógiai kihívás is. Az oktatásban is figyelembe kell venni, hogy a klímaváltozás nemcsak egy környezettudományi probléma, hanem a társadalom, a kultúra és az identitás újrajzolásának kérdése is. Mit jelent az, ha egy generáció már nem tapasztalja meg a stabil évszakokat? Hogyan hat az identitásunkra, ha a tájak, amelyekben felnőttünk, eltűnnek vagy felismerhetetlenné válnak? Az ökológiai változások nemcsak fizikai folyamatok, hanem az emberi tapasztalat átalakulását is jelentik. A környezeti nevelésnek nemcsak az a feladata, hogy gyakorlati megoldásokat kínáljon a fenntarthatóságra, hanem hogy segítse a tanulókat abban, hogy értelmezzék a bizonytalanságot, és megértsék saját helyzetüket egy átalakuló világban. Ez viszont nagy kihívást jelent az oktató-nevelő tevékenységet végzők számára.

Ökológiai hatások

Az antropocén kor meghatározó jellemzője, hogy az emberi tevékenység bolygósintű, visszafordíthatatlan változásokat idézett elő a Föld ökológiai rendszereiben. A klímaváltozás, a biodiverzitás csökkenése, az élelmiszerárak növekedése, a természeti erőforrások kimerülése, a szennyezés, az ózonréteg sérülése és a globális járványok mind az antropogén hatások következményei (TÖRÖK, 2001; MEA, 2003).

Ezek a jelenségek nem különálló problémák, hanem egy komplex, egymással összefonódó rendszer válságtünetei. A globális gazdasági növekedés és a fogyasztási minták változása továbbra is a korlátlan növekedés logikájára épül, jóllehet a Föld eltartóképesége véges (BEDDOE ET AL., 2007). Ennek következtében az emberiség egyre élesebb ökológiai korlátokba ütközik, miközben a társadalmi egyenlőtlenségek is fokozódnak.

A demográfiai helyzet is jelentős tényező az ökológiai válságban. Bár a globális népességnövekedés üteme az utóbbi évtizedekben lassul, a népesség abszolút száma továbbra is emelkedik. Az ENSZ előrejelzései szerint a 21. század közepére elérhetjük a 10 milliárd főt, ami hatalmas terhet ró a bolygó ökoszisztémáira. A növekvő lélekszámhoz szorosan kapcsolódó energia-, élelmiszer- és vízszükséglet, valamint a lakó- és közlekedési infrastruktúra iránti igény jelentős mértékben növeli az ökológiai lábnyomot.

Az emberi igények növekedése négy fő területen jelentkezik:

- **Energiafogyasztás:** fűtés, közlekedés, informatika, kommunikáció, szórakozás;
- **Térigény:** lakhatás, mezőgazdasági területek, ipari és közlekedési infrastruktúra;
- **Élelmiszer- és ivóvízellátás:** agrártermelés, élelmiszer-biztonság;
- **Higiéniai infrastruktúra:** vízhasználat, szennyvízkezelés, hulladékgazdálkodás.

Mindezek eredményeképpen az ökológiai lábnyom egyes országokban már rég meghaladja a fenntartható szintet: a fejlett világ fogyasztása messze meghaladja a globális biokapacitást, és bár a fejlődő országok ökológiai lábnyoma jóval kisebb, de gyorsan növekszik.

Az ökológiai válság azonban nem csupán az erőforrások túlhasználatában nyilvánul meg. Az élőhelyek átalakítása, a földhasználat-változás, az urbanizáció, a biológiai sokféleség csökkenése és az éghajlati migráció mind az ember és természet kapcsolatának megváltozását jelzik. A bioszféra határainak átlépése globális szinten veszélyezteti az ökoszisztémák működését és ezzel az emberi civilizáció hosszú távú fennmaradását is. STEFFEN (2015) Planetary Boundaries-modellje arra hívja fel a figyelmet, hogy a Föld ökológiai stabilitása kilenc kritikus rendszer – többek között a klímaváltozás, a biológiai sokféleség csökkenése, az óceánok elsavasodása és a földhasználat változása – egyensúlyán múlik. A tanulmány megállapítja, hogy az emberi tevékenység mára több bolygóhatárt is átlépett, különösen a biodiverzitás és a klíma területén, ami a bioszféra destabilizálódásához vezethet. A

bolygóhatárok koncepciója rendszerszintű szemléletet kínál a fenntarthatósági kihívások megértéséhez (STEFFEN ET AL., 2015).

Az emberiség hármasként néz szembe: a természeti erőforrások fenntartható használatának megteremtésével, az egyenlőtlenségek mérséklésével és a kulturális változás elősegítésével, amely túlmutat a rövid távú érdekeken. Az ökológiai válságra adott válaszok nem csupán technológiai, hanem pedagógiai és kulturális stratégiák kérdései is, ami fokozatos „érzékenyítést” kíván.

A földi környezet visszacsatolási reakciói az emberi behatásokra

Az élő és élettelen környezeti rendszerek évmilliárdos kölcsönhatása hozta létre azt a bolygót, amely az emberi élet számára is alkalmas lett. Az életfolyamatok (például fotoszintézis) és a geológiai folyamatok együtt formálták a légkör összetételét, a globális energiaraktárakat, valamint a szén és egyéb anyagok természetes tárolóit (pl. tengeri üledékek, mocsarak) (VIDA, 2011, 2012). A természetes ciklusok során a szén-dioxid, oxigén és nitrogén koncentrációi hosszú ideig viszonylagos egyensúlyban maradtak.

A fosszilis energiahordozók emberi felhasználása azonban ezt az egyensúlyt megbontotta. A szén-dioxid koncentrációjának növekedése az ipari forradalom óta gyorsuló ütemben zajlik, amelyet több tényező táplál:

- fosszilis tüzelőanyagok elégetése,
- a fotoszintézis visszaszorulása az erdőirtások miatt,
- az urbanizáció és az ipari közlekedés szennyezései,
- a nagyüzemi állattartás kibocsátásai,
- a kommunális hulladékok és a mezőgazdaság kibocsátása.

Az üvegházhatású gázok koncentrációjának növekedése globális klímaváltozáshoz vezetett, amely számos visszacsatolási folyamatot indított el:

- szélsőséges időjárási események, például villámárvizek, földcsuszamlások, tornádók, hurrikánok olyan területeken is megjelennek, ahol eddig nem voltak jellemzőek,
- a jégsapkák és gleccserek gyors olvadása,
- a tengervíz hőmérsékletének emelkedése és a tengeráramlások lassulása,
- a fokozódó erdő- és bozóttüzek, amelyek immár településeket is veszélyeztetnek.

A tengeráramlások rendszere különös figyelmet érdemel a klímaváltozás kontextusában.

Az Egyenlítő térségében kialakuló széles, meleg víztömegek – például Indonéziától

Madagaszkárig – két fő ágra szakadva északi irányban haladnak: az amerikai Labrador-áramlás és az európai Golf-áramlás felé. A Golf-áramlás melegebb vizet szállít az Atlanti-óceánon keresztül egészen az Északi-sarkvidékig. Útközben a víz lehűl, sótartalma nő, ami elősegíti a mélytengeri hideg áramlások kialakulását. Ez a globális szállítószalag fenntartja az Atlanti-óceán hőmérsékleti egyensúlyát, és kulcsszerepet játszik Európa mérsékelt éghajlatának biztosításában. A Golf-áramlás hatására Európa éves középhőmérséklete mintegy 3–5 °C-kal magasabb, mint más, hasonló földrajzi szélességű területeken, például Kanadában vagy Szibériában. A globális felmelegedés következtében a sarkvidéki jégtakarók olvadása édesvizet juttat az óceánokba, ami gyengítheti az áramlások só- és hőmérsékleti egyensúlyát. Bár egyes modellek szerint, ha a jelenlegi felmelegedési trend folytatódik, a 21. század közepére jelentős áramlászengülés következhet be, ami egy új európai „jégkorszak” kialakulását vonja maga után, de ez a prognózis továbbra is bizonytalan, és a tudományos közösség körében vita tárgyát képezi (TÓTH, 2024).

A mezőgazdasági területek terjeszkedése és az erdőirtások szintén jelentősen hozzájárulnak a helyi éghajlati rendszerek destabilizációjához, például növelik a villámárvizek gyakoriságát – amint azt hazánkban a 90-es évek végi tiszai árvíz is jól példázza.

A klímaváltozás egyre inkább érinti az emberi településeket is, különösen a vízfolyásokhoz közeli, alacsonyabban fekvő területeket, ahol gyakran a társadalom szegényebb rétegei élnek. A gazdasági központok, farmok és városok gyakran a korábban kedvező vízellátottságú és klimatikusan ideális helyszíneken jöttek létre, amelyek ma egyre nagyobb kockázatnak vannak kitéve.

A környezeti válság tehát nemcsak ökológiai kérdés: közvetlen hatása van az emberi életfeltételekre, a társadalmi rendszerekre, a gazdaságra és a kultúrára is. A klímaváltozás, az extrém időjárási események és a bioszféra destabilizációja mind arra kényszerítenek bennünket, hogy újragondoljuk az emberi települések, a gazdasági rendszerek és a társadalmak alkalmazkodóképességét az antropocén kihívásaihoz.

A következőkben azt vizsgáljuk meg, hogyan formálódik az épített környezet – városok, falvak, mezőgazdasági telepek – a globális környezeti változások hatására, és hogyan keres választ a gazdaság és a társadalom az új korszak kihívásaira.

Épített környezet, városok, falvak, mezőgazdasági telepek – a települések fajtái

Az emberiség a városiasodás és az ipari fejlődés révén az elmúlt évszázadokban jelentős mértékben átalakította a Föld felszínét. A metropoliszok, nagyvárosok, középvárosok és falvak hálózata mára a szárazföld 80%-át lefedi, legnagyobb sűrűséggel Kelet-Ázsiában és Európában. Az épített környezet alapanyagai – főként beton, téglá, fa és egyéb anyagok –

eltérnek a természetes környezettől, egyre kevesebb teret hagynak a biodiverzitás számára, és nagyobb részük nem újrahasznosítható (FÓRIÁN, 2007; MÁTYÁS, 2021). Az emberek nagy része agglomerációban él, amely olyan településcsoport, amelyen belül a központ és a közelében fekvő települések között sokrétű és szoros kulturális, gazdasági, kommunális és szolgáltatási kapcsolat jön létre.

A modern városi létforma energiaigénye ugrásszerűen megnőtt: a fűtés, közlekedés, kommunikáció, szórakozás mind fosszilis energiahordozók felhasználásával történik, ami súlyosbítja a szén-dioxid-kibocsátást és az üvegházhatást. Az emberiség energiafüggősége az antropocén kor egyik meghatározó jellemzője (HAMMER–DIXON, 2001).

A városi ember mindennapjai során egyre kevésbé érintkezik közvetlenül a természettel. Az anyagi javak pénzben kifejezett értékke váltak, elidegenítve a termelési folyamatoktól és a természeti erőforrásoktól. Ez a folyamat hozzájárult a környezeti felelősségvállalás gyengüléséhez: az ipari és kereskedelmi tevékenységek révén előállított hulladékot – különösen a műanyag és technikai hulladékot – a társadalom visszajuttatja a környezetbe anélkül, hogy közvetlen kapcsolatot érzékelné a természeti rendszerekkel.

Az ipari forradalom óta a gazdaság vált az elsődleges társadalomszervező erővé, háttérbe szorítva a környezet önértékét. A környezetet jórészt kitermelhető erőforrásként kezelik, miközben az ökoszisztéma-szolgáltatások – az élelmiszer-termeléstől a rekreációs, spirituális és kulturális értékekig – kimerülőben vannak (VIDA, 2012).

A fogyasztói társadalom növekvő árúbősége és reklámapara a konzumizmus terjedéséhez vezetett. A választék bősége hamis szabadságérzetet kelt, miközben a nem újrahasznosítható hulladék mennyisége exponenciálisan nő. ANTAL ATTILA (2021) szerint a globális kapitalizmus nem képes a környezeti és társadalmi igazságosság elérésére, mert alapvető működési logikája kizárja a fenntarthatósági szempontok érvényesítését.

Az antropocén kor egyik legnagyobb kihívása tehát nem csupán technológiai vagy gazdasági: az emberi életmód, az értékek és a természethez fűződő kulturális viszony radikális újragondolását is szükségessé teszi. A környezeti válság nemcsak ökológiai probléma, hanem identitásválság is. Az ökoszisztéma-szolgáltatások elvesztése nemcsak az anyagi, hanem a spirituális és kulturális jólétet is veszélyezteti.

Az ökológiai válság kezelése: globális programok és lehetőségek

Az emberiség tisztában van azzal, hogy a Földet sújtó ökológiai válság jelentős része saját tevékenységének következménye. Bár sok esetben a kiváltó okok nem közvetlenül érzékelhetők – például az üvegházhatású gázok kibocsátása –, a hatások (klímaváltozás, szélsőséges időjárás, ökoszisztéma-összeomlás) mindennapjaink részévé váltak.

A főbb emberi eredetű környezeti problémák közé tartozik:

- a növekvő népesség energia- és élelmiszerigénye,
- az üvegházhatású gázok kibocsátása (fűtés, közlekedés, ipar, mezőgazdaság),
- az erdőirtás és a biodiverzitás drámai csökkenése,
- elsivatagosodás, a termőtalaj degradációja,
- a kommunális és technológiai hulladékok felhalmozódása,
- a műanyagszennyezés, amely már óceáni „szigeteket” is létrehozott (MEA, 2003).

A globális környezeti kihívások mérséklésére számos kezdeményezés indult – ezek közül kiemelkedik az ENSZ Környezetvédelmi Programja (UNEP), amelyet 1972-ben alapítottak, és mára 193 ország tudósai, politikai és gazdasági döntéshozói vesznek benne részt.

A UNEP főbb feladatai:

- a környezet állapotának folyamatos monitorozása,
- közpolitikai javaslatok készítése kormányok számára,
- együttműködés a klímaváltozásban, az ózonréteg védelmében, a hulladékgazdálkodásban, a megújuló energiákban és a biodiverzitás megőrzésében.

A szervezet több sikeres nemzetközi eredményt is felmutatott:

- az ózonréteg helyreállítását célzó intézkedések,
- a napenergia és a szélenergia terjedése,
- az atomenergia békés célú alkalmazása,
- valamint a GEO (Global Environmental Outlook) -program elindítása, amely átfogó jelentéseket készít a bolygó ökológiai állapotáról.

A GEO-jelentések már hét ciklusban készültek el, több ezer szakértő közreműködésével. Ezek a jelentések nemcsak a környezeti romlásra hívják fel a figyelmet, hanem konkrét, cselekvésorientált javaslatokat is megfogalmaznak a döntéshozók számára.

Magyarország is csatlakozott az UNEP-programhoz, amelynek nyomán több országos környezetvédelmi stratégia is született. Ezek közül kiemelkedik a Nemzeti Környezetvédelmi Program (NKP), amely 1997 óta folyamatosan működik, jelenleg az ötödik ciklusban (NKP-5). Az NKP alapelvei mentén dolgozták ki a Környezeti Nevelési Programokat, valamint a 2019-től hatályos Nemzeti Környezeti Nevelési Stratégiát, amely az óvodától az egyetemig terjedő képzés minden szintjén megfogalmazza a környezeti nevelés integrációját mint kötelező nevelési feladatot.

E programok azonban nem kaptak széles körű társadalmi visszhangot. A tájékoztatás döntően az oktatási intézményekre, önkormányzatokra és néhány civil szervezetre korlátozódott. A tömegtájékoztatás – televízió, rádió, írott és online sajtó – nem fordított

kellő figyelmet e stratégiai jelentőségű dokumentumokra. Ennek következtében a társadalom szélesebb rétegei alig rendelkeznek információval ezekről a környezetpolitikai törekvésekről.

Az ökológiai katasztrófák lehetősége a tudományos gondolkodásban is radikális kérdéseket vet fel. Egyes tudományos kutatások – köztük a NASA által támogatott kezdeményezések – arra irányulnak, miként tehető élhetővé a Föld extrém környezeti állapotok esetén, illetve milyen alternatívák léteznek a földi lét fenntartására. Az egyik irány a földi élet feltételeinek mesterséges újrateremtése zárt rendszerekben: erre példa az Egyesült Államokban működő Biosphere 1 és 2 projekt, amelyek célja olyan ökológiai egységek létrehozása, ahol az ember, az állatok és a növények együttélése kontrollált körülmények között biztosítható.

Ezzel párhuzamosan folynak kísérletek más bolygók – elsősorban a Hold és a Mars – lakhatóvá tételére is, amelyek a víz és oxigén jelenlétének vizsgálatára, a kozmikus sugárzás elleni védelemre, valamint a talaj termőképességének feltárására irányulnak. Mindezek ellenére a bolygóközi migráció lehetősége a távoli jövő kérdése marad, jelenleg technológiailag és biológiailag is megvalósíthatatlan.

A jelen kihívása tehát nem a távoli bolygók kolonizációja, hanem az élhető földi környezet megőrzése. Ez szükségszerűen magában foglalja a gazdasági érdekek újragondolását is. A fenntarthatóság nem csupán környezetpolitikai, hanem etikai kérdés is: a versengés nem a fogyasztás maximalizálásában, hanem a környezetbarát technológiák fejlesztésében válhat értelmessé és szükségszerűvé.

A nemzetközi környezetvédelmi kezdeményezések tehát keretet kínálnak az ökológiai válság kezelésére – ugyanakkor a kérdés az, hogyan válik mindez valós társadalmi és kulturális gyakorlattá. Hogyan lehet a fenntarthatóságot nevelési célként, értékként, élményként közvetíteni? A válaszok keresése elvezet bennünket a pedagógia, a kultúra és a nevelés szerepéhez a 21. században.

Következtetések és értelmezési irányok az antropocén kapcsán

Az antropocén korszak fogalma jelentős vitákat váltott ki a tudományos, társadalmi és művészeti diskurzusokban. Az értelmezések három fő megközelítési irány köré csoportosulnak:

1. Természettudományos (geofizikai) nézőpont: Számos geofizikus kétségbe vonja, hogy az emberi hatás elegendő lenne egy új földtörténeti korszak megkülönböztetésére. Érvelésük szerint az emberi beavatkozások – bár látványosak – geológiai léptékkal mérve még túl rövidek. Bár olyan antropogén nyomok, mint az alumínium, a műanyag, a mikroműanyagok

vagy a plutónium megjelentek az üledékekben (pl. a kanadai Crawford-tó mélyén), sokan továbbra is a holocén korszak meghosszabbodásaként tekintenek a jelenre (VIDA, 2012). E szemlélet gyakran természeti ciklusokkal magyarázza a klímaváltozást, és elkerüli az emberi felelősség kérdését.

2. Ökológiai és társadalmi megközelítés: Az ökológusok és természetvédelmi szakemberek – a zöld mozgalmak támogatásával – határozottan az emberi tevékenységet tekintik a jelenlegi globális környezeti változások fő okozójának. A demográfiai robbanás, a klímaváltozás, a fajkihalás, az erdőirtás, a szennyezés, valamint az élőhelyek átalakítása mind olyan folyamatok, amelyek az emberi beavatkozás következményei. E nézőpont képviselői hangsúlyozzák: a károkat az embernek kell helyreállítania – ha ez még egyáltalán lehetséges. Ennek jegyében emelik ki az ENSZ és az UNEP globális programjainak szerepét, amelyek tudományos alapú és politikailag koordinált választ próbálnak adni a környezeti kihívásokra (TÖRÖK, 2009).

3. Kulturális, filozófiai és művészeti irány: A társadalomtudósok és filozófiai iskolák harmadik értelmezési irányként az antropocén kulturális, etikai és pedagógiai dimenzióit vizsgálják. Elismerik az emberi dominancia következményeit, sőt egyes irányzatok már a posztantropocén korszakra készülnek, ahol az emberiség hanyatlását, visszaszorulását vagy akár kihalását tekintik valós lehetőségnek.

Ebben az értelmezésben jelenik meg a sötét pedagógia fogalma, amely nem a remény, hanem a dezorientáció, a veszteségélmény, a bizonytalanság pedagógiája. Célja nem a komfortzóna megtartása, hanem annak lebontása – azzal a céllal, hogy újfajta kapcsolódást és alázatot alakítson ki az ember és a természet között (HORVÁTH & LOVÁSZ, 2021).

A művészetek szintén erőteljesen reflektálnak ezekre a változásokra: a katasztrófák, összeomlások, az emberi szenvedés és az ökológiai válság képei az utóbbi évtizedek művészetében egyre hangsúlyosabbak. A jövő lehetséges forgatókönyvei – éhínség, tengerszint-emelkedés, járványok, ipari katasztrófák – nemcsak a tudományos szövegekben, hanem a kortárs művészetekben is narratívává váltak (VARGA & VÁLYI, 2020).

E három irány mind különböző hangsúlyokat emel ki, de közös nevezőjük az emberi felelősség. A következő kérdés tehát nem csupán az, hogy milyen természeti, társadalmi és technológiai válaszokat adhatunk az antropocén kihívásaira, hanem az is, hogyan formálható mindez pedagógiai tartalommal. Hogyan nevelhető egy olyan nemzedék, amely nemcsak „jól élni” vagy túlélni akar, hanem érteni és érzékelni is a természethez fűződő mélyebb viszonyait?

A sötét pedagógia látásmódja

Az emberi civilizáció számára az egyik legnagyobb kihívást nem csupán a klímaváltozás fizikai következményei, hanem azok kulturális és pedagógiai feldolgozása jelenti. Ennek része a folyamatos edukáció, minden korcsoportra nézve, annak formális és informális lehetőségei. De milyen értékek, nézőpontok mentén alakul az oktatás-nevelés folyamata, tartalma egy olyan világban, amelynek stabilitását egyre kevésbé vehetjük biztosra? A természeti rendszerek összeomlása és az emberi társadalmak fenntarthatatlansága nemcsak ökológiai probléma, hanem egyben identitásválság is: hogyan gondolkodunk önmagunkról egy változó világban? Az oktatásnak tehát nem csupán az a feladata, hogy alkalmazkodjon a változó világhoz, hanem hogy segítse az embereket, intézményi, iskolai szinten pedig a tanulókat abban, hogy megértsék és értelmezzék ezt a bizonytalanságot. A sötét pedagógia éppen erre reflektál: nem a stabilitás és a kontroll illúzióját erősíti, hanem arra nevel, hogy képesek legyünk szembenézni a bizonytalansággal, a veszteséggel, sőt a kulturális és környezeti instabilitás paradox módon lehetőségeket is rejthet. A sötét pedagógia nem egy klasszikus oktatási modell, hanem egy kritikai megközelítés, amely a diszkomfort és a dekonstrukció eszközével dolgozik. Ha a természet már nem a stabilitás szimbóluma, hanem a kiszámíthatatlanság tere, akkor az oktatásnak is reagálnia kell erre a perspektívára. Fontos megjegyezni, hogy a sötét pedagógia olyan nevelési rendszerként értelmezhető, amely az embert már egy eleve elidegenedett állapotában szólítja meg: egy olyan világban, ahol az emberiség elvesztette közvetlen kapcsolatát a természettel, és annak folyamatait külső, tőle független működésként szemléli. A természeti környezet egyre inkább absztrakcióvá válik, amelyben az ember nem ismeri fel saját helyét, nem érti a ciklikusságot, nem érzékeli az elmúlás és az átalakulás természetességét. Ennek következtében a bomlás, pusztulás és változás folyamatai ijesztővé és idegenné válnak számára, a világ többé nem otthonos térként, hanem fenyegető külső környezetként jelenik meg (LYSGAARD, BENGTTSSON & LAUGESSEN, 2019, MORTON 2010, 2016, HORVÁTH & LOVÁSZ, 2021).

A modern tudomány és technológia azt az érzetet keltheti, hogy a világ működése teljes mértékben megérthető, irányítható és fejleszhető. Ez a kontrollillúzió azonban egyre inkább elzárja az embert a természeti folyamatok közvetlen megtapasztalásától. Például az elmúlás és a halál – amely egykor természetes és szerves része volt az emberi közösségi létnek – ma már elidegenedett, steril, intézményesített formát öltött. Ritkán találkozunk a haldoklás folyamatával, nem mosdatjuk saját halottainkat, nem virrasztunk mellettük. Ez az elidegenedés azonban nemcsak az emberi élet végességéhez való viszonyunkat formálja át, hanem az ökológiai rendszerekkel való kapcsolatunkat is.

Ha az ember elidegenedik saját testének működésétől, érzékelési tapasztalataitól és azoktól a természetes ciklusoktól, amelyek egykor meghatározták létét, akkor az ökológiai

rendszerek pusztá elméleti konstrukciókká válhatnak számára. Az emberi érzékelés és testtapasztalat eltávolodása a természet folyamataitól a posztindusztriális társadalmak egyik legmélyebb krízise (ABRAM, 2012). Az ökológiai horror élménye abból is fakad, hogy a természetet olyan külső, kiszámíthatatlan és kegyetlen erőként érzékeljük, amelyben az ember csupán egy sebezhető szereplő. Egy természeti katasztrófa nem magában álló rettenet, csak emberi nézőpontból tűnik „kegyetlenné”, mivel megszoktuk, hogy a világot emberközpontú rendszerként értelmezzük.

Ezen a ponton kapcsolódik a sötét pedagógia az ökohorrorhoz: a modern ember által konstruált világkép instabillá válása, a kulturális biztosítékok elvesztése és a természeti rendszerek valódi működésének belátása kísérteties élményt eredményez. LYSGAARD, BENGTSOON ÉS LAUGESSEN (2019) megfogalmazásában: „*A valóság nonhumán horrorjai emberi nyelven elmondhatatlanok.*” (LYSGAARD–BENGTSOON–LAUGESSEN, 2019, 56.)

A sötét pedagógia nem épít, hanem lebont: nem új világnézetet kínál, hanem a jelenlegi fenntarthatatlanságára mutat rá. Kritikai szemlélete különösen a nyugati gondolkodásra érvényes, amely a racionalitás és kiszámíthatóság illúziójára épült. A klímaválságot is úgy érzékeljük, mintha egy stabil múltból billentünk volna ki – holott az emberiség történelmét mindig is háborúk, járványok és katasztrófák formálták. Ami ma más, az a tudományos bizonyítékok és a modern jólét teremtette kontraszt: soha ennyien nem éltek ilyen magas életszínvonalon, így az összeomlás lehetősége még fenyegetőbbnek tűnik.

Ha a klímaválság nem pusztán természettudományos probléma, hanem kulturális és társadalmi átrendeződés is, akkor a környezeti nevelés feladata nem merülhet ki a fenntarthatóság technikai megoldásainak tanításában. Az oktatásnak nemcsak a környezeti változásokat kell értelmezhetővé tennie, hanem azt is, hogyan lehet alkalmazkodni egy bizonytalan, kiszámíthatatlan világ narratívájához.

A spekulatív realizmus egyik legfontosabb gondolata, hogy az ember és természet közötti különbségtétel nem fenntartható. Ennek pedagógiai implikációja, hogy az oktatás nem korlátozódhat a világ humanizált megértésére, hanem a természet „idegenségére”, függetlenségére is nevelnie kell (LYSGAARD ET AL., 2019; MORTON, 2016).

A sötét pedagógia kérdése tehát így is feltehető: mit jelent tanárként és tanulóként részt venni egy olyan nevelési folyamatban, amelyben nem uralni akarjuk a világot, hanem megtanulni együtt élni annak kiismerhetetlen dimenzióival (LYSGAARD ET AL., 2019)?

Érdekes diskurzust indíthatna el az ökoteológiai pedagógia nézőpontjának, elveinek összevetése a sötét pedagógia felvetéseivel. A környezeti nevelés területén megfigyelhető, hogy a természeti világ etikai és spirituális dimenzióit is egyre többen igyekeznek bevonni a pedagógiai gondolkodásba – erre példa az ökoteológiai pedagógia vagy az egyre gyakrabban használt „teremtésvédelem” fogalma, melyek a természet megóvását főként morális felelősséggént értelmezik. E szemléleti törekvések fontos kontextust adnak

a fenntarthatóságra nevelés mélyebb, értékalapú megközelítéséhez. A „dark pedagogy” kritikai irányzatként hívja fel a figyelmet arra, hogy a környezeti nevelés nem kerülheti meg a klímaszorongás, a gyász és a veszteségélmények tematizálását. Ezzel szemben a vallásos alapú környezetpedagógia, különösen a keresztény teremtésvédelem, spirituális, erkölcsi és közösségi keretben közelít a természet pusztulásának kérdéseihez (LAUDATO SI’, 2015). A két megközelítés eltérő világnézeti alapokon nyugszik, ám közös céljuk a felelősségérzet mélyítése és a környezeti tudatosság fejlesztése lehet.

A környezeti nevelés új formáit keresve olyan irányzatok is párbeszédbe kerülhetnek egymással, amelyek látszólag ellentétes szemléletet képviselnek. Míg például a helyalapú tanulás (SOBEL, 2004) a közvetlen természeti tapasztalatokon keresztül erősíti a kötődést és felelősségvállalást, addig a sötét pedagógia a világ bizonytalanságára és a kulturális dezorientáció pedagógiai lehetőségeire hívja fel a figyelmet.

Pedagógiai válaszok az ökológiai bizonytalanságra: a hely- és közösségalapú és a sötét pedagógia lehetséges párbeszéde

Ebben a fejezetben két látszólag ellentétes pedagógiai irányzat kerül összevetésre: a *place- and community-based education* (PBCE) vagy hely- és közösségalapú pedagógia (MÉSZÁROS & EGERVÁRI, 2022), amely a helyi környezeti tapasztalatokon, közösségi aktivitáson keresztül nevel elkötelezettségre; és a sötét pedagógia (*dark pedagogy*), amely a megszokott nevelési keretek lebontásán, a diszkomfort és a dezorientáció pedagógiai lehetőségein keresztül reagál az antropocén kihívásaira (1. táblázat).

E megközelítések eltérő módszertani és filozófiai hátterük ellenére közös kérdéseket tesznek fel: Hogyan viszonyul az ember a természethez mint tanulási térhez? Hogyan jelenik meg a krízis, a veszteség és az ismeretlen a pedagógiai folyamatban? Milyen emberképet formál az oktatás ezekben a különböző paradigmákban?

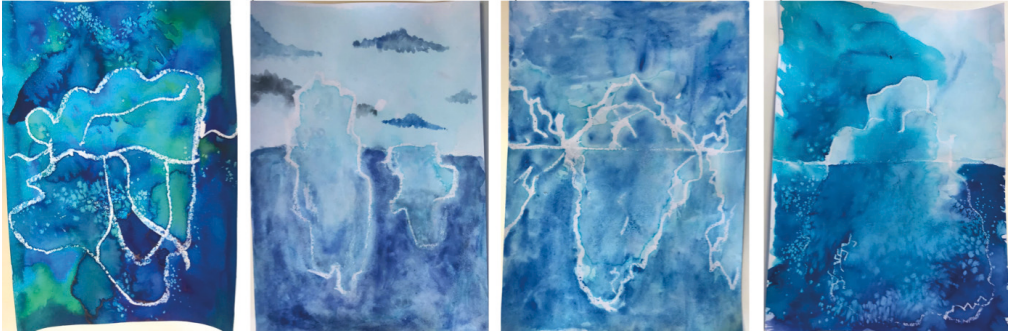
Szempont	Place- and community-based pedagógia (PBCE)	Sötét pedagógia (DP)
Alapelve	Kapcsolódás a helyhez, közösséghez, természethez	Kritikai reflektálás a világ sötét, dekonstruktív aspektusaira
Célja	Környezeti elköteleződés, közösségi felelősség	A komfortzóna elhagyása, a bizonytalansággal való együttélés megtanulása
Természet szerepe	Közvetlen tapasztalat forrása, tanulási környezet	Kiszámíthatatlan, idegen, nem emberi tér
Tanulási módszer	Tapasztalati tanulás, közösségi aktivitás	Reflexió, dekonstrukció, szembesítés
Gyermekekhez való viszony	Pozitív kapcsolódás, bizalom, nevelési optimizmus	Kritikai önismeret, diszkomfort tudatosítása
Ideológiai háttér	Ökopragmatizmus, környezeti felelősség	Poszthumán filozófia, spekulatív realizmus
Kritika	Túl pozitív és idealizált kép a természetről	Túl elvont vagy elidegenítő lehet (alacsonyabb) korosztályok számára

1. táblázat: A PBCE és a DP jellemzőinek, pedagógiai szemléletének összehasonlítása

A *place- and community-based pedagógia* (PCBE) és a sötét pedagógia (DP) első pillantásra ellentétes világgépet közvetítenek: míg előbbi a környezeti kapcsolatok és közösségi részvétel által felépíthető jövőbe vetett bizalomra épít, utóbbi az ökológiai krízisre adott dekonstruktív válaszként a bizonytalanság pedagógiáját képviseli. Mégis ezek az irányzatok nem csupán szemben állnak egymással, hanem kiegészítő, egymásra reflektáló nézőpontokat is kínálhatnak.

Az ember és természet viszonyának újragondolása mindkét megközelítés központi eleme. A PCBE szerint az ember aktív szereplőként, lokálisan kapcsolódik környezetéhez, amelyet megismerhet és gondolhat. A sötét pedagógia ezzel szemben kritizálja az efféle optimizmust: felhívja a figyelmet arra, hogy a természet nem a rendelkezésünkre álló háttér, hanem egy autonóm, gyakran érthetetlen entitás, amelyhez való viszonyunk elidegenedett, és amelyben az emberi szerep marginálisabb, mint gondolnánk.

A tanulás érzékszervi tapasztalatai szintén fontos kapcsolódási pontot jelentenek. A PCBE a közvetlen megtapasztalásra, az élményszerűségekre épít (1. ábra), míg a sötét pedagógia azt vizsgálja, hogyan válhat ez a megtapasztalás zavart keltővé, sőt diszkomfortossá, ha a természet nem barátságos térként, hanem kiismerhetetlen, esetleg félelmetes helyszíneként jelenik meg. Ezt a kettősséget pedagógiailag is érdemes tematizálni: például egy természetjárás során nemcsak a „hasznos és szép” oldalra fókuszálhatunk, hanem megvizsgálhatjuk, milyen érzés sötét erdőben egyedül lenni, vagy hogyan változik a testi észlelés, ha a megszokott kontroll kikerül a kezünk közül.



1. ábra: Olvadó jéghegyek színezett jégkockával és vízfestékekkel festve – szokatlan technika, nehezebben kontrollálható, 6. osztályos tanulók alkotásai, komplex foglalkozás keretében. A víz alatti láthatatlan világ és a jéghegyek atmoszférájának megjelenítése, Egervári Júlia fotói

A jövőre irányuló pedagógiai attitűd is jelentősen eltér: a PCBE célja, hogy a tanulás eszköze legyen a környezeti problémák megoldásának. A sötét pedagógia azonban nem biztos a megoldásokban: ehelyett arra tanít, hogy éljünk együtt a bizonytalansággal, és merjünk szembenézni a veszteségek, összeomlások realitásával. E kettősség nem kizárja, hanem erősítheti egymást: a PCBE optimizmusa kiegészülhet a DP kritikai önismeretével, így komplexebb oktatási modellekhez vezethet.

A környezeti nevelés és művészetpedagógia lehetőségei a két irányzat tükrében

A place-based és a sötét pedagógia elméleti háttere nemcsak az oktatás tartalmára és céljára hat, hanem közvetlenül alakíthatja a tanítás gyakorlati formáit is – különösen ott, ahol a művészetpedagógia és környezeti nevelés találkozik. E pedagógiai mezőben a tapasztalati tanulás, a testérzékelés és az anyaghasználat központi szerepet kap, ezért különösen alkalmas arra, hogy a két megközelítés feszültségeit és potenciáljait kibontsa.

A helyalapú pedagógia módszertanában a terepgyakorlatokon túl a természetes anyagokkal való munka, helyszínspecifikus alkotás, megfigyelés és dokumentáció jelenik meg – olyan élménypedagógiai formák, amelyek pozitív kötődést alakítanak ki a gyerekek és környezetük között, mint például a helykötődésen alapuló felelősségteljesebb hozzáállás környezeti kérdésekben (MÉSZÁROS & EGERVÁRI, 2022). Ebbe a rendszerbe beépíthetők a képzőművészet, tánc, hang, performansz eszközei, amelyek nemcsak kreativitást fejlesztenek, hanem lehetőséget adnak a helyi ökológiai kontextus művészi újraértelmezésére is. Az ilyen folyamatok során a természet nemcsak háttér, hanem alkotótárrá válik (EGERVÁRI, 2021).

Ezzel szemben (vagy éppen ezt kiegészítve) a sötét pedagógia megköveteli annak pedagógiai belátását, hogy a természet nem mindig harmonikus vagy „jól nevelhető” tér.

A művészetpedagógiában ez azt jelentheti, hogy nemcsak az idilli táj, hanem a bomlás, törés, pusztulás dekonstrukciós folyamatai is megjelenhetnek az alkotásban – akár természetes anyagok mulékonyságán, akár performatív szituációkon keresztül. Az ilyen művészeti helyzetek nemcsak technikai, hanem érzelmi és filozófiai szinteken is reflektálnak az ökológiai válságra (2. ábra).



2. ábra: Természetművészeti gesztusok 6-7. osztályosokkal tábori keretek között, Egervári Júlia fotói

A művészeti gyakorlatoknak tehát kulcsszerepük lehet abban, hogy a tanulók ne csak racionális, hanem testi-érzéki és érzelmi módon is viszonyulni tudjanak a természethez mint komplex entitáshoz. A sötét pedagógia értelmében az alkotás lehetőséget ad arra, hogy a tanulás ne csak megértés, hanem átélés és dezorientáció is legyen – egy olyan folyamat, amely során a tanulói szubjektum nem megerősítést, hanem éppen újraértelmezést nyer. Néhány konkrét példát szeretnénk bemutatni.

A környezeti nevelés és a művészetpedagógia metszéspontja különösen termékeny térként jelenik meg az antropocén kor kihívásaira adott pedagógiai válaszok között. A vizuális narratívák, történetmesélés és drámapedagógiai elemek lehetővé teszik, hogy a tanulók feldolgozzák az ökológiai szorongást, miközben kreatív jövőképeket is megfogalmaznak (HAUKE, 2024). Különösen a 10 év feletti korosztálynál működnek jól azok a művészeti gyakorlatok, amelyek az ökohorror nyelvén keresztül tematizálják a veszteséget és a bizonytalanságot – például kollázs, montázs vagy *stop-motion* animációk

készítése, amelyek a természet „másik arcát” mutatják meg (CARSTENS, 2020). A fiatalabb korosztály számára a nem emberi nézőpontok felvétele és a szomatikus tapasztalatok kínálhatnak belépőt az ökológiai érzékenyítésbe – például földdel való munka, növényekkel való együtt mozgás vagy a természet hangjainak kreatív feldolgozása, hiszen számukra közelebb van még a kertben, természetben való játék élménye, de a többi korcsoportra is szabható egy-egy ilyen foglalkozás, amely többféle értelmezési lehetőséget kínál. A fenntarthatóság kritikai aspektusai is megjelennek: a hulladék újraértelmezése művészi alapanyagként (trash art) vagy a természettel való kooperációban létrehozott, múlandó alkotások (land art, természetművészet), amelyek érzékenyítik a tanulókat az emberi beavatkozás következményeire (3. ábra).



3. ábra: Természetművészeti gyakorlat 7. osztályosokkal a közvetlen környezetükben, konstrukció-dekonstrukció, a munka lebontásra kerül, szomatikus tapasztalatok, Egervári Júlia fotói

A kortárs művészet nem csupán esztétikai jelenségek tárháza, hanem olyan társadalmi és ökológiai kérdéseket tematizáló közeg is, amely aktívan reflektál a jelen kihívásaira (FOWKES & FOWKES, 2022). A kortárs művészetpedagógia ezen keresztül lehetőséget teremt arra, hogy a tanulók személyesen és kritikusán kapcsolódjanak a környezeti problémákhoz. A konceptuális művészet, a természetművészet vagy az ökoművészet példáinak segítségével a művészet nemcsak szemléltet, hanem diskurzust indít, kérdéseket vet fel, és bevon a reflexióba. Ezáltal a művészettel nevelés eszköztára a környezeti nevelés számára is új távlatokat nyit, hiszen nemcsak tudást közvetít, hanem érzékenyít, és cselekvésre ösztönöz (EGERVÁRI, 2025).

Összefoglalás

Az antropocén egy új földtörténeti korszak, amelyben az emberi tevékenység globális hatást gyakorol a természetes rendszerekre. Az emberiség felelőssége megkerülhetetlen a klímaváltozás, a biodiverzitás csökkenése, a fosszilis energiahordozók kimerülése, az ökoszisztéma-szolgáltatások elszegényedése és a mesterséges környezet térnyerése kapcsán. A hulladékékepződés és az olyan tartós szennyeződések, mint a műanyag, új kihívásokat jelentenek az élő rendszerek számára.

Az antropocén korszak nem csupán földtörténeti fordulópontot jelöl, hanem mélyreható pedagógiai, kulturális és morális kihívást is. Az emberi tevékenység által előidézett ökológiai változások olyan komplex problémák, amelyek a nevelés minden szintjén újfajta szemléletet és módszertani nyitottságot követelnek. A környezeti válság nem csupán technikai vagy természettudományos kérdés, hanem identitásbeli, etikai és érzelmi tapasztalatokat is mozgósító tanulási folyamat.

Az emberiség előtt három nagy kihívás áll: a természeti erőforrások fenntartható használata, a társadalmi egyenlőtlenségek csökkentése és a hosszú távú, közösségi felelősségvállalás erősítése, mely túlmutat a rövid távú érdekeken. Az ökológiai válaszok csak akkor lehetnek hatékonyak, ha nemcsak tudományos, hanem pedagógiai és kulturális stratégiák is támogatják őket.

A tanulmány három fő megközelítési szempontot vizsgált: a természettudományos keret mellett a kritikai pedagógia, különösen a sötét pedagógia (dark pedagogy) és a hely- és közösség alapú nevelés (PBCE) lehetséges párbeszédét, valamint a kortárs művészetpedagógia bevonásának lehetőségeit a környezeti nevelés támogatására, melynek feladata nem merülhet ki a fenntarthatóság technikai megoldásainak tanításában. Az oktatásnak nemcsak a környezeti változásokat kell értelmezhetővé tennie, hanem azt is, hogyan lehet alkalmazkodni egy bizonytalan, kiszámíthatatlan világ narratívájához. Mindezek nem önmagukban állnak, hanem komplementer módon képesek új, transzdiszciplináris pedagógiai horizontokat nyitni.

A PBCE a környezettel való pozitív kötődésen, közösségi részvételen és helyközpontú tapasztalatokon keresztül kínál tanulási lehetőségeket. Ezzel szemben – vagy inkább ezt kiegészítve – a sötét pedagógia a diszkomfort, dezorientáció és veszteség élményének nevelési lehetőségeit vizsgálja, és nem kifejezetten pedagógiaigyakorlat-alapú, mint inkább filozófiai irányzat. Míg egyik a cselekvő, helyben elkötelezett tanulói attitűdöt erősíti, a másik a világ kiismerhetetlenségére és az emberi kontroll korlátaira irányítja a figyelmet. A két megközelítés közötti feszültség nem gyengeség, hanem lehetőség: pedagógiai párbeszéd lehet, amelyben az optimizmus és a kritikai reflexió egyaránt helyet kap.

E párbeszéd közegévé válhat a művészetpedagógia, különösen a vizuális kultúra és az anyagalapú, tapasztalati tanulás gyakorlatai. Az alkotói folyamatok lehetőséget teremtenek arra, hogy a tanulók érzéki, érzelmi és szimbolikus módon kapcsolódjanak az ökológiai valósághoz. A természet nemcsak háttér vagy téma, hanem társalkotóként jelenik meg. A helykötődés, a természetes anyagokkal való munka, a történetmesélés vagy éppen az ökohorror vizuális nyelve mind olyan eszközök, amelyek segítségével a tanulók saját tapasztalataikon keresztül érthetik meg a természet összetettségét és sebezhetőségét.

A pedagógiai tér így nemcsak tudást közvetít, hanem olyan érzékenyítő és értelmező közeggé válhat, amelyben a klímaválság nemcsak információként, hanem egzisztenciális tapasztalatként is feldolgozható. Az ökológiai nevelés jövője nem egyetlen módszer vagy világnézet mentén képzelhető el, hanem a különböző pedagógiai pozíciók és világmentelmezések közötti dialógus révén.

Bár jelen tanulmány nem tartalmaz empirikus eredményeket, a szerzők korábbi kutatásaihoz kapcsolódóan készültek kvalitatív és kvantitatív vizsgálatok is, amelyek a környezeti attitűdök változását kívánták feltárni. E vizsgálatok rámutattak, hogy az ilyen típusú nevelési folyamatok hatékonysága csak korlátozottan ragadható meg kvantitatív módszerekkel. A környezeti attitűdök alakulása összetett, hosszú távú folyamat, amelyben a reflexió, az érzelmi bevonódás és a közösségi élmények is alapvető szerepet játszanak.

Míndez felhívja a figyelmet arra, hogy a művészeti és környezeti nevelés értékelése új módszertani utakat kíván: a kvalitatív elemzések, alkotások értelmezése, tanulói narratívák és reflexív gyakorlatok értékes kiegészítői lehetnek a hagyományos mérési eszközöknek. A jövő pedagógiájának nemcsak tartalmában, hanem értékelési módjaiban is reagálnia kell az antropocén komplex kihívásaira.

Irodalomjegyzék

- Abram, D. (2012). *The Spell of the Sensuous: Perception and Language in a More-Than-Human World*. Vintage Books.
- Antal Attila (2018): Az antropocén és az ökológiai marxizmus In: *Korunk*, 30(2), 49–57.
- Beddoe, R., Costanza, R., Farley, J., Garza, E., Kent, J., Kubiszewski, I., Martinez, L., McCowen, T., Murphy, K., Myers, N., Ogden, Z., Stapleton, K., & Woodward, J. (2009). Overcoming systemic roadblocks to sustainability: the evolutionary redesign of worldviews, institutions, and technologies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(8), 2483–2489. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812570106>

- Carstens, D. (2020). Navigating apocalyptic affects: Generating posthuman cartographies of resistance to capitalist realism. *Somatechnics*, 10(1), 95–114. <https://doi.org/10.3366/soma.2020.0302>
- Crutzen P. J, Stoermer E. F. (2000). The 'Anthropocene'. *Global Change Newsletter* 41, 17–18.
- Egervári J., Orbán S. (2022). Ökológiai kérdések a képzőművészetben. Az ökológiai szemlélet megjelenése és alakulása a 20. és 21. századi művészeti gyakorlatok tükrében. *Acta Universitatis de Carolo Eszterházy nomine, Sectio Biologiae* 47, 5–27. <https://doi.org/10.33041/ActaUnivEszterhazyBiol.2022.47.5>
- Egervári J. (2021). Kapcsolódás a hellyel az alkotótevékenységen keresztül – a környezet, mint „alkotótárs” In *Élni a kultúrát! – Játék, művészetpedagógia és tudomány konferenciakötet*, 239–245 p. ISBN 978-963-489-425-4
- Egervári J. (2025) A környezeti nevelés integrált támogatása a vizuális- és környezetkultúra terület eszközrendszerével 5-6. évfolyamon, doktori disszertáció (kézirat, benyújtva), Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Neveléstudományi Doktori Iskola.
- Ferenc Pápa (2015): *LAUDTIO SI'* kezdetű enciklikája. Közös Otthonunk Gondozásáról Szent István Társulat. az Apostoli Szentszék Könyvkiadója, Budapest.
- Fórián, S. (2007). Urbanizációs folyamat és annak néhány hatása a környezetre. *Debreceni Műszaki Közlemények* 2007/1. p. 1–11.
- Fowkes, M. & Fowkes, R. (2022) *Art and Climate change*, Thames & Hudson Ltd., London ISBN 978-0-500-20475-7
- Hauke, A. (2024). *Ecofeminism and the Gothic Archives of American Folk Horror: Shadows of the Anthropos* (Doctoral dissertation, Universität Passau).
- Horváth M. & Lovász Á. (2021). Az emberi végesség tudatosítása: sötét pedagógia az antropocénben, a poszthumanitás jegyében, Ifjúsági és Gyerekirodalmi Centrum Petőfi Irodalmi Ügynökség, Mesecentrum (<https://igyic.hu/esszektanulmanyok/az-emberi-vegesség-tudatositasa-sotet-pedagogia-az-antropocenben-a-poszthumanitas-jegyeben.html>) (2021) internetről letöltve
- Kovács, E., Pataki, Gy., Kelemen, E. & Kalóczkai, Á. (2011). Az ökoszisztéma-szolgáltatások fogalma a társadalomkutató szemszögéből. *Magyar Tudomány*, 172, 780–787.
- Lysgaard, J. A., Bengtsson, S., & Laugesen, C. (2019). Speculative realism and environmental and sustainability education. *Environmental Education Research*, 25(10), 1455–1470. <https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1739230>
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2003): *Ecosystems and Human Wellbeing: A Framework for Assessment*. – Island Press, Washington DC, 212 pp. MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005): *Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis*. – World Resource Institute, Washington DC, 137 pp.

- Mátyás Csaba (2021). Antropocén: egy új korszak a Föld Rendszer történetében? *Erdészeti Lapok* 156(2), 1–3.
- Mészáros, T., Egervári, J. (2022). A közösség és a hely szerepe a Waldorf- és a place-based pedagógiában. *Neveléstudomány | Oktatás – Kutatás – Innováció*, 10(2), 35–50. <https://doi.org/10.21549/NTNY.37.2022.2.3>
- Morton, T. (2010). *The Ecological Thought*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/9780674056732>
- Morton, T. (2013). *Hyperobjects: Philosophy and Ecology after the End of the World*. University of Minnesota Press.
- Morton, T. (2016). *Dark Ecology: For a Logic of Future Coexistence*. Columbia University Press. <https://doi.org/10.7312/mort17752>
- Török K. (2009). A Föld ökológiai állapota és perspektívái (a Millennium Ecosystem Assessment alapján). *Magyar Tudomány* 170, 48–53.
- Sobel, D. (2004). *Place-based education: Connecting classrooms and communities*. Nature Literacy Series.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Sustainability. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science (New York, N.Y.)*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Varga A. & Vályi, P. (2020). Hogyan taníthatunk a természet kegyetlenségéről? A sötét ökológia pedagógiája. In: *Társadalmi innováció és tanulás a digitális korban* Juhasz, E., Kozma, T., Tóth, P. (szerk.) HERA ÉVKÖNYVEK VIII. Magyar Nevelés- és Oktatókutatók Egyesülete. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10524.72320>.
- Vida Gábor (2011). Globális energiagondok. *Biokontroll* 2: 5–12.
- Vida Gábor (2012). Honnan hová Homo? Az Antropocén korszak gondjai. *Studia Physiologica Fasciculus* 18. 1–72. Semmelweis Kiadó.

SASS-GYARMATI ANDREA

A MOHÁK FUNKCIONÁLIS ÖKOLÓGIÁJA TRÓPUSOKON: FUNKCIONÁLIS JELLEGEK, MIKROBIOM ÉS ÖKOLÓGIAI SZEREPEK INTEGRÁLÁSA

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Növényteni és Növényélettani Tanszék

e-mail: sass-gyarmati.andrea@uni-eszterhazy.hu

Absztrakt

A trópusokon a mohák kulcsfontosságú, bár gyakran alábecsült szerepet játszanak a nedves esőerdei ökoszisztémák szerkezetében és működésében. Poikilohidrikus természetüknek és nagy felületi arányuknak köszönhetően ezek a növények a mikroklíma, a vízháztartás és a tápanyagok körforgásának kritikus szabályozóiként működnek. Ökológiai jelentőségük mellett a trópusokon előforduló mohák funkcionális ökológiája sokkal kevesebb figyelmet kapott, mint az edényes növényeké, különösen a vízháztartás, a fotoszintézis plaszticitása és a szimbiotikus interakciók tekintetében, amelyek meghatározzák a trópusi és szubtrópusi mohák teljesítményét és ökológiai szerepét. Ez az áttekintés a trópusokon élő mohafajok ökológiai szerepét, valamint a legfontosabb funkcionális jellegeikkel kapcsolatos jelenlegi ismereteket foglalja össze. Elsőként a vízvisszatartással és a kiszáradástoleranciával kapcsolatos morfológiai és élettani alkalmazkodásokat tárgyaljuk, kiemelve az epifiton fajok között megfigyelt eltérő stratégiák változatosságát. Másodsorban áttekintjük a fényadaptáció háttérben álló mechanizmusokat, beleértve a klorofill összetételét, a fényvédő pigmenteket és a fotoszintézis hatékonyságát a trópusi erdők lombkoronájára jellemző változó sugárzási viszonyok között. Harmadsorban kiemeljük a moha- és mikrobiális társulásokra vonatkozó egyre több adatot, különös tekintettel a cianobaktériumok nitrogénmegkötésére, a gombás endofitonokra és a mohák stressztűrő képességét és tápanyagfelvételt szabályozó mikrobiális közösségekre. A továbbiakban feltárjuk, hogy ezek a funkcionális jellegek hogyan érvényesülnek az ökoszisztéma szintű folyamatokban, mint például a vízvisszatartás, a talajvédelem és a szén-dioxid-megkötés, -alátámasztva a mohák jelentőségét a trópusi erdők változó környezeti feltételei között. Befejezésképpen meghatározzuk a legfontosabb ismerethiányokat és módszertani kihívásokat, beleértve a standardizált tulajdonságméréseket, a hosszú távú in situ vizsgálatokat, valamint az élettani és molekuláris adatok integrálásának szükségességét. A tulajdonságalapú és az ökoszisztéma-

alapú perspektívák ötvözésével ez a tanulmány egy koncepcionális keretrendszer kíván létrehozni a trópusi mohák funkcionális sokféleségével és a trópusi erdők ökoszisztémáiban zajló ökológiai folyamatok fenntartásában betöltött szerepükkel kapcsolatos jövőbeli kutatásokhoz.

Kulcsszavak: mohák, funkcionális jellegek, vízvisszatartás, fényadaptáció, szimbiózis, epifitonok, ökoszisztéma-szolgáltatások

ANDREA SASS-GYARMATI

FUNCTIONAL ECOLOGY OF BRYOPHYTES IN THE TROPICS: INTEGRATION OF FUNCTIONAL TRAITS, MICROBIOME AND ECOLOGICAL ROLES

*Eszterházy Károly Catholic University, Department of Botany and Plant Physiology
e-mail: sass-gyarmati.andrea@uni-eszterhazy.hu*

Abstract: In the tropics bryophytes play a pivotal yet often underestimated role in the structure and functioning of humid forest ecosystems. Owing to their poikilohydric nature and high surface-to-volume ratio, these plants act as critical regulators of microclimate, hydrology, and nutrient cycling. Despite their ecological relevance, the functional ecology of tropical bryophytes has received far less attention than that of the vascular plants, particularly regarding water relations, photosynthetic plasticity, and symbiotic interactions. This review synthesizes current knowledge on the key functional traits that determine the performance and ecological roles of tropical and subtropical mosses. First, we discuss morphological and physiological adaptations related to water retention and desiccation tolerance, emphasizing the diversity of strategies observed among epiphytic, terricolous, and saxicolous taxa. Secondly, we summarize the mechanisms underlying light adaptation, including chlorophyll composition, photoprotective pigments, and photosynthetic efficiency of the fluctuating radiation regimes under the tropical forest canopies. In the third place, we highlight the growing amount of data on moss and microbial associations, with particular emphasis on nitrogen fixation by cyanobacteria, fungal endophytes, and microbial communities that regulate the stress tolerance and nutrient uptake of mosses. We then explore how these functional traits interact in ecosystem-level processes such as water retention, soil protection, and carbon sequestration, thereby supporting the importance of bryophytes in maintaining the resilience of tropical forests under changing environmental conditions. Finally, we identify key knowledge gaps and methodological challenges, including standardized trait measurements, long-term in situ studies, and the need to integrate physiological and molecular data. By combining trait-based and ecosystem-based perspectives, this study aims to establish a conceptual framework for future research on the functional diversity of tropical mosses and their role in maintaining ecological processes in tropical forest ecosystems.

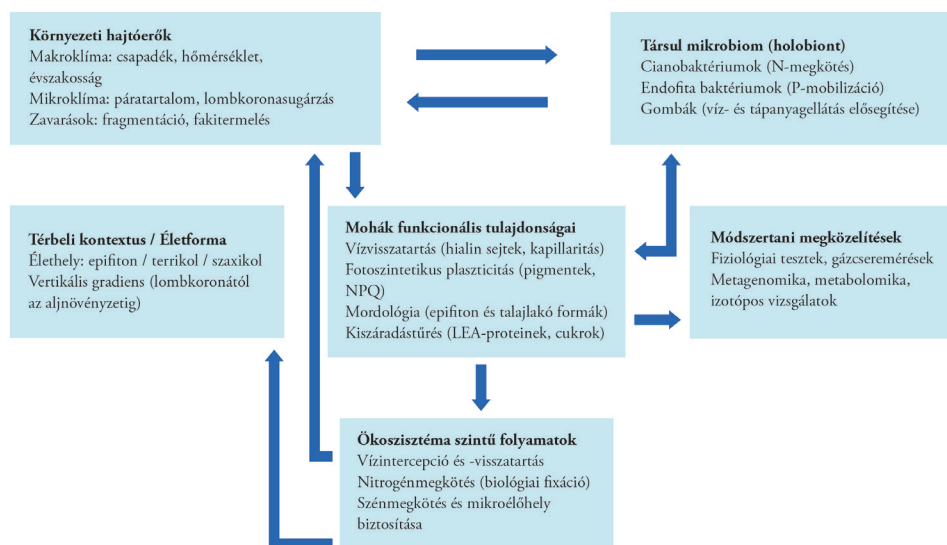
Keywords: bryophytes, functional traits, water retention, light adaptation, symbiosis, epiphytes, ecosystem services

Bevezetés

A mohák a szárazföldi növények egyik legősibb és egyedülálló csoportját képviselik, és kulcsfontosságú szerepet játszanak a szárazföldi ökoszisztémák szerkezetében és működésében. A mohák helyi és globális szinten egyaránt hatást gyakorolhatnak a biogeokémiai ciklusokra (PORADA ÉS MTSAL., 2014; ELDRIDGE ÉS MTSAL., 2023). A mohák közvetlenül hozzájárulnak az elsődleges produktivitáshoz, valamint közvetetten befolyásolják a talaj szén-dioxid-áramlását és -tárolását, ezáltal szabályozva a szén-dioxid-körforgást (TURETSKY ÉS MTSAL., 2012). Bizonyos mohák a nitrogénkötő baktériumok segítségével (DELUCA ÉS MTSAL., 2002; REED ET AL., 2012) befolyásolják a nitrogénkörforgást a talajban is. Poikilohidrikus növények lévén a mohák (és az általuk dominált kriptobiotikus kéreg) a víz felvételével, tárolásával és a talaj pufferolásával is hatnak a helyi hidrológiai folyamatokra (COE ÉS MTSAL., 2012; KETTRIDGE ÉS MTSAL., 2016). A mohák élőhelyet biztosítanak az apróbb gerinctelen élőlények számára, és elősegítik a talaj felszínén és alatt zajló biotikus interakciókat (pl. a mikrobiális tápláléklánc dinamikájának szabályozásával) (LINDO ÉS GONZALEZ, 2010; WICAKSONO ÉS MTSAL., 2021). A mohák jelentős biomassza- és funkcionális komponenst képeznek, különösen a trópusi és szubtrópusi és a szubarktikus régiókban, bár a legtöbb ökológiai tanulmány és szintézis elsősorban a mérsékelt övi vegetációra fókuszál. A humid mikroklimájú trópusi esőerdők mohái, amelyek fakérgen, sziklákon és talajon élnek, fontos szerepet játszanak a vízgazdálkodásban, a mikroklima szabályozásában és a tápanyagok körforgásában. A trópusi esőerdőket a többi erdőtípustól az is megkülönbözteti, hogy megjelennek bennük az epifill (élő levélfelszínen található) mohafajok, melyek csak a tartósan magas páratartalmú, stabil mikroklimájú erdőkben képesek fennmaradni (ORBÁN 1997, 1999). A mohák poikilohidrikusak, víztartalmuk közvetlenül függ a környezetük nedvességtartalmától. Ez a tulajdonság lehetővé teszi számukra, hogy gyorsan alkalmazkodjanak a vízmennyiség változásaihoz, többségük jól tűri az időleges kiszáradást, ugyanakkor egyes fajok a kiszáradásra igen érzékenyek. Az epifiton életforma különösen jellemző a trópusokon: a mohák a fák ágain és kérgén élnek, gyakran a lombkorona különböző szintjein, ahol a fény- és vízviszonyok nagyon eltérőek. A trópusi esőerdőkben a mohák növekedési formáinak diverzitása kiemelkedően nagy: májmohák esetében a telepes és a leveles, lombosmoháknál az akrokarp (csúcson termő) és pleurokarp (oldalt termő) fajok. A mohatelepek alkothatnak gyepeket, a párnaszerű vagy egészen a függőnyszerű lecsüngő formáig terjednek. Minél nagyobb egy adott élőhely csapadékfüggősége, annál komplexebb formák alakulnak ki. A morfológiai adaptáció nemcsak a vízfelvételt segíti, hanem növeli az asszimiláló felületet is (ORBÁN 1999). Ezek a speciális életkörülmények különleges morfológiai és fiziológiai alkalmazkodásokhoz vezettek, mint például a vízraktározó sejtek (hialin sejtek), a hajtás felszínének mikromorfológiai módosulásai és

a gyors vízfelvételekre képes levelek (AH-PENG ÉS MTSAL., 2017). A mohák életstratégiája az élettartam, a szaporodási és a terjedési mechanizmusok, a kompetíciós képesség és az élőhely-preferencia összefüggő rendszerét jelenti. (1) Az átfutó, fugitív típusú fajok rövid életűek, életciklusuk egy évnél rövidebb, spórái aprók. (2) A kolonizáló típus fajai gyorsan elfoglalják az új szabad felszíneket, például a talajt, fakérget, sziklafelszínt vagy mesterséges felületeket. Három altípusa: az efemer kolonisták, a többéves valódi kolonisták és a pionír kolonisták. A kolonizáló fajok spórái aprók, kitartóak, vegetatív sarjakkal és propagulumokkal gyorsan terjednek a pionír fajok kivételével. (3) Az évelő állandó fajok üde erdőkben tömeges vegetációt alkotnak, ezen belül két altípus van: a kompetítor évelők és a stressztoleráns évelő fajok. Az ide sorolható fajok hosszabb élettartamúak, nagyobb gametofitonnal, de ritka a fruktifikáció, a spórák aprók. (4) Az ingázó (shuttle) stratégiatípusok a kedvező környezeti körülmények esetében megjelennek, ha kedvezőtlené válnak a körülmények, akkor eltűnnek. Altípusai: az egyéves ingázó fajok egy éven belül, a rövid életű ingázók 2-3 éven belül fruktifikálnak, gyakran gemmák vagy vegetatív propagulumok segítségével terjednek, és a harmadik a hosszú életű ingázók. Spóráik nagyok, az egyévesek kivételével propagulumokkal és vegetatív sarjakkal is terjednek. A kompetíciós képesség nagy variabilitást mutat: a gyors életciklusú fajok gyenge versenytársak, míg a perennial stayers típusok számítanak a legtöbb közösségben a legerősebb kompetítoroknak. Az életstratégiák és élőhely-preferenciák szorosan összefüggenek: a frissen kialakuló, bolygatott felszíneket az F, AS és C stratégiák népesítik be, míg a stabil trópusi erdőkben az évelő típusok válnak meghatározóvá állandó körülmények között, évtizedekig; minden trópusi erdőtípusban lehet domináns faj – talajon, fatörzsön, sziklákon, ágakon tömeges előfordulásúak. (ORBÁN 1999, 2002) A funkcionális ökológia a szervezetek funkcionális jellegeit vizsgálja, azaz hogy a morfológiai és élettani jellemzők hogyan befolyásolják az egyedek teljesítményét és az ökoszisztéma működését. Bár ez a megközelítés az elmúlt két évtizedben alapvetően megváltoztatta az edényes növények ökológiai kutatását, a mohák esetében kevésbé elterjedt. A trópusokon előforduló mohafajok esetében a funkcionális jellegek kutatása különösen fontos, mivel ezek a fajok olyan mikroklíma-feltételek között élnek, amelyek különösen érzékenyek az éghajlatváltozásra és az élőhelyek fragmentációjára. A trópusi mohák ökológiai szerepe többre tehető. A lombkorona szintjén élő epifiton fajok jelentősen hozzájárulnak a tápanyagok és a víz vertikális elosztásához: a csapadékot megkötve és visszatartva mérséklik a párolgást, miközben mikrotározóként is működnek. A talajban és sziklákon élő fajok szerepet játszanak a talajerózió csökkentésében, a víz visszatartásában és a tápanyagok megőrzésében. Egyes fajok szimbiotikus kapcsolatban állnak a cianobaktériumokkal, amelyek biológiai nitrogénmegkötést végeznek, ezáltal növelve a környező ökoszisztémák tápanyagszintjét. Más esetekben az endofiton mikrogombák vagy baktériumok segíthetik a víz és a tápanyagok felvételét, valamint növelhetik a stressztűrést. A fényhez való alkalmazkodás szintén a

mohaközösség egyik fő jellemzője. Az epifiton fajok gyakran váltakozó időszakokban vannak kitéve intenzív közvetlen sugárzásnak és árnyéknak, ezért pigmentösszetételük és fotoszintetikus aktivitásuk nagyfokú plaszticitást mutat. A fotoszintézis hatékonysága és a vízvisszatartás szorosan összefügg: a kiszáradás elleni védelem és a fénytűrés gyakran párhuzamosan evolúált (Pócs, 1982). Bár a mohák funkcionális ökológiájával kapcsolatos kutatások száma nő, a módszertan terén még mindig jelentős hiányosságok vannak. Kevés olyan tanulmány készült, amely több életformacsoport vagy biogeográfiai egység között egységes módon mérte volna a funkcionális tulajdonságokat (pl. vízfelvételi képesség, kiszáradástolerancia, fotoszintézis-paraméterek). A legtöbb adat egy fajra vagy szűk földrajzi területre korlátozódik, ami megnehezíti a globális összehasonlítást. Ezenkívül a taxonómiai problémák (kritikus csoportok) szintén akadályt képeznek a trópusokon előforduló mohák funkcionális adatainak integrálásában. A mohák jellegei és a közösségek és ökoszisztémák közötti funkcionális kapcsolatok változatosságának feltérképezése elengedhetetlen a mohák és a környezet közötti kölcsönhatások holisztikus megértéséhez, és egyre sürgetőbbé válik



1. ábra. Konceptuális modell: Trópusi mohák funkcionális kölcsönhatásai

1. A mohák vízvisszatartó képessége és alkalmazkodása

A trópusi és szubtrópusi mohák egyik legfontosabb funkcionális jellemzője a vízvisszatartó képességük és a kiszáradás iránti toleranciájuk. Poikilohidrikus organizmusokként a mohák víztartalma közvetlenül követi környezetük páratartalmát, ezért életfolyamataik – különösen

a fotoszintézis és a gázcseré – csak nedves állapotban aktívak (PROCTOR, 2000; OLIVER ÉS MTSAI., 2005). A trópusi környezetre jellemző gyors és gyakori nedves-száraz ciklusok olyan szerkezeti és fiziológiai alkalmazkodásokat eredményeztek, amelyek hatékony vízfelvételt, tárolást és kiszáradás utáni túlélést tesznek lehetővé.

1.1. Vízfelvétel és vízszállítás

A mohák vízfelvétele elsősorban passzív folyamat, amely a levélkék, hajtások és rizoidok felületén keresztül történik. A mohák levélkéi egysejtrétegűek, gyakran vékony sejtfalúak, és nagy kiterjedésű kapilláris terekkel rendelkeznek, ami elősegíti a gyors vízfelvételt és -szállítást (LIGRONE ÉS MTSAI., 2000). A levelek mikromorfológiája – például a mamillák, papillák és asszimiláló lamellák jelenléte – jelentősen növeli a fajlagos felületet és elősegíti a vízréteg kialakulását. Egyes nemzetségekben, például a *Sphagnum*, *Leucobryum* és *Campylopus* nemzetségekben, a hialin sejtek kulcsszerepet játszanak a víz visszatartásában. Ezek a sejtek vékony falúak, pórusosak, és vizet tárolnak a hialin sejtekben, amelyet fokozatosan bocsátanak ki a környező klorofillsejtekbe (PROCTOR, 1998). Trópusi környezetben, ahol a vízellátás gyakran időszakos, ez a sejtszerkezet lényeges a fotoszintézis fenntartásához. Bár a legtöbb moha nem rendelkezik speciális szállítószövetekkel, néhány nagyobb méretű faj (pl. *Polytrichum*, *Dawsonia*) hydroid és leptoid sejteket tartalmaz, amelyek megkönnyítik a víz és a tápanyagok részleges szállítását (LIGRONE ÉS MTSAI., 2000). Ez a szállítószövethez hasonló rendszer különösen kedvező a szárazabb, nyílt élőhelyeken.

1.2. Morfológiai adaptációk a vízvisszatartáshoz

A trópusi epifiton mohák számára az egyik legnagyobb környezeti kihívás a levegő páratartalmának ingadozása miatt bekövetkező gyors vízvesztés elkerülése. A különböző fajok különböző morfológiai stratégiákat fejlesztettek ki ezeknek a kihívásoknak a leküzdésére. Az epifill májmohák esetében például a morfológiai szerkezet nagyon komplex: a levelek szélén hialin szegély található (pl. *Cololejeunea*, *Colura*), amely a nedvesség gyors felszívódását szolgálja, míg a belső rétegek a víz hosszabb távú visszatartását biztosítják. Egyes trópusi epifitonok, mint például a *Lejeunea* és a *Frullania* fajok (májmohák), zsákszerű vízmegtartó alsó levélkaréjokkal rendelkeznek. Számos mohafaj higroszkópos mozgást mutat: leveleik szárazon felcsavarodnak, csökkentve a felszíni párolgást, majd nedvesen újra kinyílnak. Ez nemcsak csökkenti a vízvesztést, hanem segít a légkörből származó páralecsapódás megkötésében is (PROCTOR, 2000).

1.3. A szárazságtűrés fiziológiai mechanizmusai

A trópusi mohák kiszáradástűrésének kulcsa az anabiózis, azaz a vízhiányos időszakokban az anyagcsere aktivitásának csökkenése. Szárazság idején ugyanis a sejtekben védő cukrok (pl.

trehalóz, szacharóz) halmozódnak fel, amelyek stabilizálják a membránokat és a fehérjéket (OLIVER ÉS MTSAL., 2005). Ezenkívül a késői embriogenezisben bőségesen előforduló (LEA) fehérjék is szerepet játszanak a sejtszerkezetek megőrzésében (ROUTRAY ÉS MTSAL., 2025). Kísérletek kimutatták, hogy a trópusi mohák fotoszintetikus rendszere (különösen a PSII) nagyfokú reverzibilitást mutat: az elektrontranszport és a fluoreszcenciaaktivitás a kiszáradás utáni újbóli nedvesítés után gyorsan helyreáll (ALPERT 2005, 2006). A fotoszintézis és a vízháztartás közötti kapcsolat különösen fontos az epifitonok közösségeiben az átmeneti mikroklímátikus nyomások túléléséhez. A pigmentösszetétel is befolyásolja a vízhiány elleni védekezést: a magas karotinoid- és flavonoidtartalom védelmet nyújt a fotoszintézis apparátusának fény- és oxidatív stressz esetén.

1.4. Mikroskálájú vízdinamika és ökoszisztéma szintű hatások

A mohaközösségekben a víz mozgása térben és időben rendkívül heterogén. A kapilláris víztranszport elengedhetetlen az epifiton közösségekben, ahol nincs más aljzathoz kapcsolódó vízellátás. Az ilyen közösségek képesek kialakítani olyan mikroskálájú víztároló rétegeket, amelyek hosszabb időszakokban több órán át vagy akár több napig is fenntarthatják a fotoszintézis tevékenységét. A mohák vízmegtartó képessége ökoszisztéma szinten is jelentős: egyes hegyi trópusi erdőkben (mohaerdő, köderdő) az epifiton moharéteg egyetlen esőből hektáronként 30,000 liter vizet, a napi csapadékmennyiség 10–20%-át képes megőrizni (PÓCS 1976, 1980, VENEKLAAS ÉS MTSAL., 1990, AH-PENG ÉS MTSAL., 2017). Ha ehhez még hozzáadjuk a mohák által felfogott ködcsapadékot (a „vízszintes” csapadék mennyisége ebben a környezetben csaknem egyenlő az eső formájában lehulló vízzel (RÄSENEEN et al. 2018), óriási jelentőségű a mohatakaró vízvisszatartó képessége. Ez a visszatartott víz fokozatosan csepeg le vagy elpárolog, stabilizálja a mikroklímát és elősegíti a lombkorona vízkörforgásának szabályozását. A moharéteg lassítja a víz lefolyását és elősegíti a tápanyagok vertikális újraelosztását, ami közvetlenül befolyásolja a trópusi erdők hidrológiai és biogeokémiai egyensúlyát. Nem is szólva a patakok, vízfolyások szintjének stabilizálásáról és annak mezőgazdasági jelentőségéről.

2. Fényadaptáció és fotoszintetikus plaszticitás

A fény az egyik legfontosabb környezeti tényező, amely meghatározza a mohák anyagcseréjét, elterjedését és ökológiai szerepét. Trópusi körülmények között a mohák különösen heterogén fénykörnyezetben élnek: az esőerdők alacsonyabb szintjeiben és aljnövényzetében a szűrt és diffúz fény változik a napfényes foltokkal a lombkorona szerkezetének és a napállásnak megfelelően. Ebben a komplex fénykörnyezetben a mohák széles körű fényadaptációs és

fényvédő mechanizmusokat fejlesztettek ki, amelyek lehetővé teszik számukra a fotoszintézis teljesítményének optimalizálását és a fény okozta stressz minimalizálását. A mohák fotoszintetikus aktivitása szorosan összefügg a víz elérhetőségével és a fény intenzitásával. A fotoszintézis gyakran viszonylag rövid idővel a nedvesedés után éri el maximális szintjét, majd a víz mennyiségének csökkenésével együtt csökken (PROCTOR, 2000; ALPERT, 2006). A különböző életformák csoportjai (epifiton, talaj-, kéreg- és sziklakók) eltérő fénytelítettségi görbéket mutatnak. Az epifiton fajok általában magasabb fénytelítettségi ponttal és szélesebb fotokémiai tartománnyal rendelkeznek, míg az aljnövényzet árnyéktűrő fajai alacsonyabb fényintenzitás mellett érik el fotoszintézisük maximumát. Az alsóbb szinteken élő fajok (pl. *Fissidens*, *Thuidium*) még alacsony fényintenzitás mellett is aktívan részt vesznek a fotoszintézisben, míg a felső epifiton szintben élő fajok (pl. *Octoblepharum*, *Leucobryum*) intenzív, rövid idejű fényimpulzusokat hasznosítanak. A fotoszintézis és a vízháztartás integrált szabályozása ezekben a fajokban különösen figyelemre méltó: a fényhez való alkalmazkodási tulajdonságok gyakran a vízmegtartó mechanizmusokkal együtt változhatnak. Ez a funkcionális összefüggés a mohaközösségek egyik legfontosabb ökológiai vonása (ZOTZ ÉS BADER, 2024).

2.1. A fényviszonyok környezetének változásai és ökológiai jelentősége

A trópusi esőerdőkben a fényintenzitás térben és időben jelentősen változik: a lombkorona tetején és ágai közt („eufotikus zóna”) a fotoszintetikus aktív sugárzás (PAR) meghaladhatja az $1500\text{--}2000\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ értéket, míg az alacsonyabb szinteken („oligofotikus zóna”, RICHARDS 1983) gyakran $20\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ alá csökken (ZOTZ ÉS BADER, 2024). Az epifiton mohák ezért rendkívül dinamikus fénykörnyezethez alkalmazkodnak, amelyet a napi csapadékmennyiség és a lombkorona szerkezete is befolyásol. Az ilyen fényingadozásokhoz való alkalmazkodás különösen fontos, mivel a mohák nem képesek a fény irányába orientálódni vagy árnyékot adó struktúrákat kialakítani, mint az edényes növények. Ehelyett a pigment- és a fotoszintetikus plaszticitásuk révén reagálnak a környezeti változásokra (PROCTOR, 2000).

2.2. Pigmentösszetétel és fényvédelem

A mohák fényhez való alkalmazkodásának egyik legfontosabb összetevője a pigmentösszetétel. A klorofill a és a klorofill b aránya, valamint a karotinoidok és a xantofillok mennyisége határozza meg a fényabszorpciót és a fotokémiai hatékonyságot. Az árnyéktűrő fajok (pl. *Taxithelium*, *Leucobryum*, *Calymperes*) gazdagok klorofill b-ben, ami lehetővé teszi a gyenge, diffúz fény hatékonyabb kihasználását. Ezzel szemben a fényhez alkalmazkodott epifiton fajok magasabb karotinoid- és xantofilltartalommal rendelkeznek, amelyek fotoprotektív szerepet játszanak a túlzott sugárzás ellen (MARSCHALL ÉS PROCTOR, 2004). A xantofillciklus

különösen fontos a trópusi fajoknál, mert lehetővé teszi a nem fotokémiai kioltás (NPQ) gyors szabályozását, ezáltal elkerülve a PSII túlzott gerjesztését és a fotoinhibíciót (HEBER és MTSAI., 2007). A pigment összetétele napi és szezonális szinten változhat, tükrözve az erdei fénykörnyezet dinamikáját. A karotinoidok mellett az antioxidáns molekulák (pl. aszkorbinsav, flavonoidok, fenolos vegyületek) is szerepet játszanak a fotoprotektív hatásban. Ezek semlegesítik a fény- és hőstressz során keletkező reaktív oxigénszármazékokat (ROS), és hozzájárulnak a membránok és pigmentrendszerek stabilitásához (SORIANO és MTSAI., 2019).

2.3. Funkcionális alkalmazkodás és klímaérzékenység

A fényalkalmazkodási mechanizmusok nemcsak az egyedek szintjén befolyásolják a fennmaradásukat, hanem az ökoszisztéma működésének szintjén is. A trópusi erdőkben az epifita moha- és zuzmóközösség rétege hozzájárul a lombkorona fényviszonyainak szabályozásához, diffúz fényt biztosítva az aljnövényzet számára. Az éghajlatváltozás és az erdők fragmentációja azonban egyre inkább megváltoztatja a fényviszonyokat, ami hatással lehet ezeknek a moháknak és zuzmóknak a pigmentösszetételére és fotoszintetikus aktivitására. A megnövekedett fényintenzitás a korábban árnyéktűrő fajok hanyatlásához vezethet, míg a megnövekedett ultrabolya-sugárzás oxidatív stresszt okozhat (FAN és MTSAI., 2020). A funkcionális plaszticitás ezért kulcsfontosságú lehet a trópusi elterjedésű mohák éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodásában.

3. Szimbiotikus kölcsönhatások és mikrobiom-közösségek

A trópusokon és szubtrópusokon előforduló mohák ökológiai szerepének egyik legérdekesebb és legkevésbé kutatott aspektusa a mikrobiális közösségekkel való szoros kapcsolatuk. A mohák nem izolált organizmusok, hanem mikrobiális holobiomok, amelyekben baktériumok, cianobaktériumok, gombák élnek együtt a gazdanövény mellett, kölcsönösen befolyásolva egymás anyagcseréjét, stressztűrő képességét és tápanyag-felhasználását (LINDO és GONZALEZ, 2010; ROUSK és MTSAI., 2013). Ezek az interakciók különösen fontosak **a trópusi élőhelyeken, ahol az** epifiton és talajlakó mohák tápanyagellátása rendkívül korlátozott, és a környezeti ingadozások extrémek. A mikrobiális partnerek ezért funkcionális szinergiákat biztosítanak, amelyek hozzájárulnak a mohaközösségek ökológiai sikeréhez és a trópusi ökoszisztémák rezilienciájához.

3.1. Cianobaktériumok és a nitrogénmegkötés

A cianobaktériumokkal való szimbiózis a mohákkal a legjobban dokumentált kapcsolat. Biológiai folyamatok révén képesek a légköri nitrogént (N_2) ammóniává alakítani, amelyet a moha felvehet és beépíthet. A trópusokon, ahol a talaj sok esetben kimerült és nitrogénszegény, ez a folyamat döntő fontosságú az ökoszisztéma nitrogénciklusában. A *Sphagnum*, *Blasia* és *Anthoceros* nemzetségekben a cianobaktériumok (*Nostoc*, *Anabaena*) intracellulárisan vagy nyálkás üregekben élnek. Az epifitonok esetében a nedves-száraz szakaszok gyakorisága nem gátolja, sőt akár serkentheti is a nitrogénmegkötési tevékenységet, mivel a cianobaktériumok a nedves szakaszokban aktiválódnak (DELUCA ÉS MTSAL., 2008). Ezek a szimbiózisok ökoszisztéma szinten is mérhetők: a trópusi köderdőkben a mohák és a cianobaktériumok közötti kapcsolatok az összes biológiai nitrogénmegkötés 20–30%-át is kitehetik (ALVARENGA ÉS MTSAL., 2024). Ez nemcsak a mohatelepek tápanyagellátását befolyásolja, hanem a környező vegetációét is, hozzájárulva az erdő tápanyaghálózatának stabilitásához. Ezek a mikrobiális partnerek hozzájárulnak a szárazság- és hőstressz-tolerancia növekedéséhez is, például az ozmoregulációt elősegítő anyagok (pl. prolin, trehalóz) termelésével. A baktériumok befolyásolják a biofilm képződését is, ami javítja a vízmegtartást és a tápanyagok helyi recirkulációját a mohapárnák belsejében. A mikrobiális biofilmek a levegőből is megkötik a port, a mikrotápanyagokat és a mikroorganizmusokat, ezáltal növelve a növényközösség tápanyagellátását (ROUSK ÉS MTSAL., 2013).

3.2. Gombapartnerek és mikorrhizaszerű szimbiózisok

Bár a klasszikus értelemben vett mikorrhiza-kapcsolatok nem jellemzőek a mohákra, bizonyítékok vannak arra, hogy a mohák szimbiotikus kapcsolatokat alakítanak ki endofita gombákkal (Ascomycota, Basidiomycota) (PRESSEL ÉS MTSAL., 2021). Ezek az interakciók különösen gyakoriak a trópusi epifiton mohákban, és számos funkcionális előnyt kínálnak: pl. tápanyagátvitel a légköri részecskékből és szerves anyagokból, fokozott vízfelvétel és -megtartás a gombák kapillárisain keresztül, stresszcökkentés oxidatív vagy termikus stressz esetén, valamint védelem más mikroorganizmusokkal szemben antimikotikus vegyületek révén (RIMINGTON ÉS MTSAL., 2020). A trópusi mohák és gombák közötti kölcsönhatás ezért funkcionálisan hasonló lehet a zuzmók szimbiotikus rendszeréhez, ahol a gombapartner felel a víz- és tápanyagellátásért, míg a fotobiont az asszimilátumok termeléséért. Bár ezek a kapcsolatok eddig nem teljesen tisztázottak, egyre több bizonyíték utal arra, hogy a gombapartnerek hozzájárulnak a mohák ökológiai-fiziológiai stabilitásához a trópusi környezetben.

3.3. Mikrobiális életközösségek mint funkcionális modulok

A mohákhoz kapcsolódó mikrobiális életközösségek együttesen egy komplex funkcionális hálózatot alkotnak, amelyben a különböző mikroorganizmusok specializált szerepet töltenek be. A nitrogénmegkötő, foszformobilizáló, antioxidáns és biofilmképző mikroorganizmusok együttesen biztosítják a mohák funkcionális stabilitását. A mikrobiális populációk összetétele és működése nagyban függ a mikroélelőhelyektől: a baktériumok diverzitása nagyobb a nedves, árnyékos epifita környezetben, míg a stressztűrő fajok dominanciája a nyílt, fényes élőhelyeken figyelhető meg (LINDO ÉS GONZALEZ, 2010). Ezek a dinamikus közösségek lehetővé teszik a mohák számára, hogy morfológiai alkalmazkodás nélkül gyorsan reagáljanak a mikroklimatikus változásokra. Néhány újabb kutatás szerint a mohamikrobiom anyagcsere-hálózatként is értelmezhető: az egyes mikroorganizmusok által termelt anyagcsere-termékek (pl. szerves savak, aminosavak, hormonok) közvetlenül befolyásolják a gazdaszervezet fiziológiáját és az ökoszisztéma tápanyagkörforgását. Így a mohák és mikroorganizmusok közötti szimbiózisok a trópusi erdők biogeokémiai mechanizmusainak kulcsfontosságú elemei is lehetnek. A mikrobiális-moha kapcsolatok nemcsak élettani előnyökkel rendelkeznek, hanem evolúciós adaptációs előnyt is jelenthetnek a poikilohidrikus létforma fenntartásában. A mikroorganizmusokkal való együttélés biztosítja, hogy a mohák extrém környezetben, például időszakosan kiszáradó epifiton mikroélelőhelyeken is fenntartsák anyagcseréjüket. Ezek a kapcsolatok új ökoszisztéma szintű funkcionális modulokat is létrehoznak: a mohák nemcsak fotoszintetikus biomasszaként, hanem biológiai tápanyagforrásként, vízvisszatartó réteggé és mikrobiális hotspotként is funkcionálnak (PRESSEL ÉS MTSAI, 2021). Ez a komplex funkció kiemelt jelentőségű a trópusi erdők stabil működése szempontjából. A jövőbeli kutatásoknak a célja ezeknek a szimbiózisoknak a molekuláris, anyagcsere és ökoszisztéma szintű feltérképezése, mivel a mikrobiális közösségek és a gazdanövények közötti kölcsönhatások megértése kulcsfontosságú lehet a trópusi ökoszisztémák ellenálló képességének megőrzésében a klímaváltozás korában.

4. A funkcionális jellegek sokfélesége és az ökoszisztéma-szolgáltatások

A mohák sokrétűen járulnak hozzá az ökoszisztémák működéséhez: támogatják a talajképződést és a tápanyagkörforgást, szabályozzák a vízháztartást, nyersanyagot és dísztőanyagot szolgáltatnak, valamint kulturális szerepet is betöltenek (2. ábra). A trópusokon előforduló mohák funkcionális ökológiájának kutatása az elmúlt évtizedben jelentős reneszánszát élte (STANTON ÉS COE, 2021; COE, 2024), elsősorban az ökoszisztéma szintű érdeklődés növekedésének, az éghajlatváltozással kapcsolatos megfontolásoknak

és a modern analitikai módszerek elérhetőségének köszönhetően. Mindezek ellenére a trópusokon élő mohafajok továbbra is az egyik legkevésbé kutatott növénycsoportot képezik a funkcionális növényökológiában. Ez részben a trópusi erdők összetettségének és nehezen megközelíthetőségének, részben pedig annak köszönhető, hogy a legtöbb módszert és modellt eredetileg a mérsékelt éghajlati övezetben élő fajok számára fejlesztették ki. A jövőbeli kutatások kulcsa a funkcionális változatosság és az ökoszisztéma dinamikája közötti kapcsolat feltárása, amely átfogó képet ad a trópusi erdők biomasszájában és energi ciklusában szerepet játszó mohákról. A funkcionális ökológiai kutatás egyik fő korlátja a jellemzők mérésének szűkössége és heterogenitása. Míg az edényes növények esetében pontosan meghatározott protokollok és globális adatbázisok állnak rendelkezésre (pl. TRY-adatbázis) [1], a mohák esetében a tulajdonságok mérési módszerei gyakran eltérnek a laboratóriumok között (COE, 2024). A sajátos morfológiai és fiziológiai plaszticitásuk miatt a hagyományos mutatók (pl. levélvastagság, víztartalom, fotoszintézis sebessége) csak nehezen értékelhetők a trópusi fajok esetében. Emiatt alapvető fontosságú lenne egy szabványosított, taxonoktól független protokollrendszer kidolgozása, amely figyelembe veszi a mohák morfológiai jellemzőit (pl. levélrendezés, rizoidok sűrűsége, gametofiton–sporofiton arány). A trópusi mohákra alkalmazott tulajdonságalapú modell nemcsak fajszintű összehasonlításokat tenné lehetővé, hanem a funkcionális csoportok meghatározását is.

Támogató (Supporting)	Szabályozó (Regulating)	Ellátó (Provisioning)	Kulturális (Cultural)
Talajképzést segítő, vegetációs szukcesszió Élőhely biztosítása Tápanyagkörforgás Szénkörforgás, szénmeg- kötés Nitrogénmegkötés Élőhely-helyreállítás	Vízkörforgás Talajvédelem Kártevők és betegsé- gek elleni védelem Nehézfémetek bioindikációja (biomonitoring)	Mohák mint tüzelőanyag Építkezés Zöldtetők Kertészet Ruházat Gyógyászat	Vallási szertartások és rituálék Karácsonyi díszítés Gonosz szellemek elleni védelem

2 ábra. Mohák által nyújtott ökoszisztéma-szolgáltatások (Ecosystem Services, ES)

(CHIMYANG ÉS MTSAI, 2022 nyomán, módosítva)

4.1. A jövőbeli kutatási trendek és módszertani kihívások

Az elmúlt évtizedben egyre nagyobb figyelmet kapott a trópusi mohák funkcionális ökológiája, mivel ezek a kicsi, de kulcsfontosságú növények érzékeny mutatói a mikroklimatikus változásoknak, és jelentős hatással vannak a víz- és tápanyagkörforgásra. Mindazonáltal jelenlegi ismereteink még mindig hiányosak, főként a módszertani korlátok,

a trópusi taxonómia kapcsán fennálló bizonytalanságok, valamint a kis léptékű ökológiai folyamatok mérhetőségének nehézségei miatt. A trópusi mohák funkcionális sokfélesége nemcsak tudományos szempontból jelentős, hanem ökológiai és társadalmi szempontból is fontos erőforrás. A klímaváltozásra különösen érzékeny poikilohidrikus szervezetekként a mohák a mikroklíma és a légkör változásainak indikátoraként szolgálhatnak. A jövőbeli természetvédelmi stratégiáknak ezért kiemelten kell foglalkozniuk a mohatársulások védelmével, különösen a hegyvidéki erdőkben és a másodlagos erdőkben. A mohák megőrzése egyben a hozzájuk kapcsolódó mikrobiális és gerinctelen közösségek megőrzését is jelenti, ezért a biológiai sokféleség megőrzéséhez integrált megközelítésre van szükség. A trópusi mohák ökológiai szerepének átfogó megértése csak több kontinensen végzett összehasonlító tanulmányok révén érhető el. Ennek kulcsa a közös mérési protokollok, egységes adatstruktúrák és közös herbárium-molekuláris archívumok kidolgozása. A molekuláris vizsgálatok bevonásával a tűrőképesség hatásmechanizmusainak megértésében fennálló hiányosságok jelentősen csökkenthetők. A világon megtalálható megközelítőleg 20 000 mohafajnak csak a töredékét (kb. 1000 fajt) vizsgálták terápiás célból. Számos lehetőség kínálkozik további hasznos mohafajok gyógyászati és kulturális célokra történő felhasználására. A jövőbeli kihívás a mohakutatás számára – a taxonómiai alapelvektől kiindulva – a prediktív ökológia szintjére való eljutás, ahol a funkcionális tulajdonságok és a környezeti tényezők összekapcsolása lehetővé teszi a klímaváltozás hatásainak térbeli modellezését.

Következtetések

A trópusi mohák funkcionális ökológiájának kutatása az utóbbi időben új lendületet kapott, miután felismerték, hogy ezek az apró, gyakran figyelmen kívül hagyott növények alapvető szerepet játszanak az esőerdők víz-, tápanyag- és szén ciklusában. Ezen áttekintés és a bemutatott koncepciómodell célja annak bemutatása volt, hogy a környezeti tényezők, a mohafajok funkcionális jellegzetességei, a hozzájuk kapcsolódó mikrobiális közösségek és az ökoszisztéma szintű folyamatok hogyan kapcsolódnak egymáshoz. A trópusi mohákra jellemző rendkívüli morfológiai és fiziológiai plaszticitás lehetővé teszi számukra, hogy gyorsan alkalmazkodjanak a szélsőséges mikroklímatis változásokhoz. A holobiont megközelítés szerint ennek a rugalmasságnak a kulcsa nemcsak a növény saját tulajdonságaiban rejlik, hanem a vele szoros szimbiózisban élő mikroorganizmusokban is, különösen a cianobaktériumokban, az endofita baktériumokban és a gombákban. Ezért ennek a többkomponensű rendszernek a funkcionális elemzése elengedhetetlen a trópusi ökoszisztémák stabilitásának és rezilienciájának megértéséhez. A mohák

funkcionális tulajdonságai (pl. vízvisszatartás, fotoszintézis, kiszáradástolerancia) és az ökoszisztéma szintű hatások közötti összefüggések új kutatási irányokat jelölnek ki a trópusi erdők működésének modellezésében. A jövőbeli kutatásoknak integrálniuk kell a fiziológiai, mikrobiológiai és környezeti adatokat, hogy kvantitatív módon leírják, hogyan járulnak hozzá a mohák a regionális nedvességdinamikai mintázatokhoz, a tápanyagok körforgásához és a szén-dioxid-megkötéshez. A trópusi mohák ökológiájának jövője egyértelműen az integrált, több módszert és több skálát alkalmazó megközelítésekben rejlik. A precíz mikroklíma-monitorozás és a kísérleti műveletek kombinálásával feltárható a moha–mikrobiom–környezet kölcsönhatások ok-okozati hálózata. Ugyanakkor a trópusi régiók közötti összehasonlítások ökológiai szempontból értelmezhetővé tételéhez elengedhetetlen a nemzetközi adatbázisok és közös protokollok kidolgozása. Összességében véve a trópusi mohák modellrendszerként szolgálhatnak a funkcionális ökológia területén a mikroorganizmusokkal való együttélés, a vízfelhasználási stratégiák és az éghajlatváltozáshoz való mikroadaptációk tanulmányozásában. Ez a kutatási irány nemcsak a mohafajok alaposabb ökológiai megismerését segíti elő, hanem hozzájárul a trópusi ökoszisztémák fenntartható kezeléséhez és megőrzéséhez is, amelyekben a mohák – bár gyakorta észrevétlenek – jelentős ökológiai hatást fejtenek ki.

Köszönetnyilvánítás:

Ezúton mondok köszönetet Orbán Sándor és Pócs Tamás professzoroknak a kézirat lektorálásáért, értékes kiegészítéseikért és kutatói pályámra gyakorolt ösztönző hatásukért.

Irodalomjegyzék

- Ah-Peng, C., Williamson Cardoso, A. Flores, O., West, A., Wilding, N., Strasberg, D., Hedderson T. A. J. (2017). The role of epiphytic bryophytes in interception, storage, and the regulated release of atmospheric moisture in a tropical montane cloud forest. *Journal of Hydrology* 548, 665–673. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.043>
- Alpert P. (2005). The limits and frontiers of desiccation-tolerant life. *Integrative and comparative biology*, 45(5), 685–695. <https://doi.org/10.1093/icb/45.5.685>
- Alpert, P. (2006). Constraints of tolerance: why are desiccation-tolerant organisms so small or rare? *Journal of Experimental Biology* 209, 1575–1584. <https://doi.org/10.1242/jeb.02179>

- Alvarenga DO., Clasen L.A., Rydgren Thomsen A.M., Andersen R.F., Rousk K. (2024). Light drives nitrogen fixation in tropical montane cloud forests in Costa Rica. *Science of The Total Environment* 940, 173631 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173631>
- Chimyang, N., Mossang P., Shankar V., Evelin H., Prem Lal Uniyal P.L. (2022). Bryophytes in the Ecosystem Services: a review. *Journal of Bioresources* 9 (1), 25–34. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8131443>.
- Coe, K., Belnap, J., and Sparks, J.P. (2012). Precipitation-driven carbon balance controls survivorship of desert biocrust mosses. *Ecology* 93, 1626–1636. <https://doi.org/10.1890/11-2247.1>
- Coe, K., Carter B., Slate M., and Stanton D. (2024). Moss functional trait ecology: trends, gaps, and biases in the current literature. *American Journal of Botany* 111(2), e16288. <https://doi.org/10.1002/ajb2.16288>
- DeLuca, T.H., Zackrisson O., Nilsson MC. and Sellstedt A. (2002). Quantifying nitrogen-fixation in feather moss carpets of boreal forests. *Nature* 419, 917–920.
- DeLuca, T. H., Zackrisson, O., Nilsson, M. C., & Sellstedt, A. (2002). Quantifying nitrogen-fixation in feather moss carpets of boreal forests. *Nature*, 419(6910), 917–920. <https://doi.org/10.1038/nature01051>
- Eldridge, D. J., Guirado, E., Reich P. B., Ochoa-Hueso, R., Berdugo, M., Sáez-Sandino T., Blanco-Pastor, J. L., Tedersoo, L., Plaza, C., Ding, J., Sun W., Mamet S., Cui H., He J. Z., Hu H. W., Sokoya, B., Abades S., Alfaro F., Bamigboye A. R., Asunción de los Ríos F. B., Durán J., Gaitan J. J., Guerra C. A., Grebenc T., Illán J. G., Liu Y. R., Makhalanyane T. P., Mallen-Cooper M., Molina-Montenegro M. A., Moreno J. L., Nahberger T. U., Gabriel F. Peñaloza-Bojacá, Picó S., Rey A., Rodríguez A., Siebe C., Teixido A. L., Torres-Díaz C., Trivedi P., Wang J., Wang L., Wang J., Yang T., Zaady E., Zhou X., Zhou X. Q., Zhou G., Liu S., Delgado-Baquerizo M. (2023). The global contribution of soil mosses to ecosystem services. *Nature Geoscience* 16, 430–438. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01170-x>
- Fan, X. Y., Liu, W. Y., Song, L., Liu, S., Shi, X. M. and Yuan G. D. (2020). A combination of morphological and photosynthetic functional traits maintains the vertical distribution of bryophytes in a subtropical cloud forest. *American Journal of Botany* 107(5), 761–772. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1474>
- Heber, U., Azarkovich, M., Shuvalov, V. (2007). Activation of mechanisms of photoprotection by desiccation and by light: poikilohydric photoautotrophs. *Journal of Experimental Botany* 58 (11), 2745–2759. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm139>
- Kettridge, N., Tilak A. S., Devito K. J., Petrone R. M., Mendoza C. A. & Waddington J. M. (2016). Moss and peat hydraulic properties are optimized to maximize peatland water use efficiency. *Ecohydrology* 9, 1039–1051. <https://doi.org/10.1002/eco.1708>

- Ligrone, R. & Duckett, J. & Renzaglia, K. (2000). Conducting tissues and phyletic relationships of bryophytes. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 355, 795–813. <https://doi.org/10.1098/rstb.2000.0616>
- Lindo, Z., and Gonzalez A. (2010). The bryosphere: an integral and influential component of the Earth's biosphere. *Ecosystems* 13, 612–627. <https://doi.org/10.1007/s10021-010-9336-3>
- Marschall, M. & Proctor, M. (2004). Are Bryophytes Shade Plants? Photosynthetic Light Responses and Proportions of Chlorophyll a, Chlorophyll b and Total Carotenoids. *Annals of botany* 94, 593–603. <https://doi.org/10.1093/aob/mch178>
- Oliver, M. & Velten, J. & Mishler, B. (2005). Desiccation Tolerance in Bryophytes: A Reflection of the Primitive Strategy for Plant Survival in Dehydrating Habitats? *Integrative and comparative biology* 45, 788–799. <https://doi.org/10.1093/icb/45.5.788>
- Orbán, S (1997). Epiphyllous Calymperaceae species. *Community Ecology* 21, 119–121.
- Orbán, S. (1999): *Általános Briológia*. Eger, Magyarország: EKF Líceum Kiadó, 305 p.
- Orbán, S. (2002). A löszfalak moháinak életstratégiái. In: Salamon-Albert, Éva; Borhidi, Attila (szerk.) *Magyar botanikai kutatások az ezredfordulón: tanulmányok Borhidi Attila 70. születésnapja tiszteletére Pécs, Magyarország: Pécsi Tudományegyetem TTK Növénytan Tanszék* 710 p. 581–588. pp.
- Pócs, T. (1976). The rôle of the epiphytic vegetation in the water balance and humus production of the rain forests of Uluguru Mountains, East Africa. In Miede, J. & Stork, A. (eds.) *Boissiera* 24, 499–503.
- Pócs, T. (1980). The epiphytic biomass and its effect on the water balance of two rain forest types in the Uluguru Mountains (Tanzania, East Africa). *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae* 26, 143–167.
- Pócs, T. (1982). Tropical Forest Bryophytes. In: Smith, A.J.E. (eds) *Bryophyte Ecology*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-5891-3_3
- Porada, P., Weber, B., Elbert, W., Pöschl, U. & Kleidon, A. (2014). Estimating impacts of lichens and bryophytes on global biogeochemical cycles. *Global Biogeochemical Cycles* 28, 71–85. <https://doi.org/10.1002/2013GB004705>
- Pressel, S., Bidartondo, M., Field, K., Duckett, J. (2021). Advances in understanding of mycorrhizal-like associations in bryophytes. *Bryophyte Diversity and Evolution* 43(1), 284–306. <https://doi.org/10.11646/bde.43.1.20>
- Proctor, M. & Nagy, Z. & Csintalan, Zs. & Takács, Z. (1998). Water-content components in bryophytes: Analysis of pressure-volume relationships. *Journal of Experimental Botany* 49, 1845–1854. <https://doi.org/10.1093/jexbot/49.328.1845>
- Proctor, M.C. (2000) The bryophyte paradox: tolerance of desiccation, evasion of drought. *Plant Ecology* 151, 41–49. <https://doi.org/10.1023/A:1026517920852>

- Proctor, M. C., Oliver, M. J., Wood, A. J., Alpert, P., Stark, L. R., Cleavitt, N. L. & Mishler, B. D. (2007). Desiccation-tolerance in bryophytes: a review. *The Bryologist* 110, 595–621. [https://doi.org/10.1639/0007-2745\(2007\)110\[595:DIBAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1639/0007-2745(2007)110[595:DIBAR]2.0.CO;2)
- Räsänen, M., Chung M., Katurji, M., Pellikka P., Rinne J. & Katul G. G. (2018). Similarity in fog and rainfall intermittency. *Geophysical research Letters* 45: 10691–10699. <https://doi.org/10.1029/2018GL078837>
- Richards, P. W. (1983). The three-dimensional structure of tropical rain forest. In Sutton, S. L., Whitmore, T. C. and Chadwick, A. C. (Editors) *Tropical Rain Forest: Ecology and Management*. Blackwell, Oxford, pp. 3–24.
- Rimington, W., Duckett, J., Field, K., Bidartondo, M. & Pressel, S. (2020). The distribution and evolution of fungal symbioses in ancient lineages of land plants. *Mycorrhiza* 30, 23–49. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-00938-y>
- Rousk K., DeLuca T. H., Rousk J. (2013). The Cyanobacterial Role in the Resistance of Feather Mosses to Decomposition—Toward a New Hypothesis. *Plos One* 8(4), e62058. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062058>
- Routray, D., Sabovljević, M. S. & Goga, M. (2025). Stress-related proteomics in bryophytes. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* 159, 616–628. <https://doi.org/10.1080/11263504.2025.2496469>
- Soriano G., Del-Castillo-Alonso M.-Á., Monforte L., Núñez-Olivera E., Abaigar J. M. (2019). Phenolic compounds from different bryophyte species and cell compartments respond specifically to ultraviolet radiation, but not particularly quickly. *Plant Physiology and Biochemistry* 134, 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.07.020>
- Stanton D. E. & Coe K. K. (2021). 500 million years of chartered territory: functional ecological traits in bryophytes. *Bryophyte Diversity and Evolution* 43 (1), 234–252. <https://doi.org/10.11646/bde.43.1.17>
- Turetsky, M. R., Bond-Lamberty, E., Euskirchen, J., Talbot, S., Frolking, A. D., McGuire, E-S Tuittila. (2012). The resilience and functional role of moss in boreal and arctic ecosystems. *New Phytologist* 196, 49–67. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04254.x>
- Zotz, G. and Bader M. Y. (2024). The Physiology of Lichens and Bryophytes in the Tropical Lowlands. In *The First 100 Years of Research on Barro Colorado: Plant and Ecosystem Science, Volume 2*, ed. Muller-Landau, H. C. and S. J. Wright, pp. 791–797. Washington, DC: Smithsonian Institution Scholarly Press. <https://doi.org/10.5479/si.26882653>
- Veneklaas E. J., Zagt R. J., van Leerdam A., van Ek R., Broekhoven A. J. & Genderen M. V. (1990). Hydrological properties of the epiphyte mass of a montane tropical rain forest, Colombia. *Vegetatio* 89, 183–192. <https://doi.org/10.1007/BF00032170>

Wicaksono, W. A., T. Cernava, C. Berg, and G. Berg. (2021). Bog ecosystems as a playground for plant–microbe coevolution: Bryophytes and vascular plants harbour functionally adapted bacteria. *Microbiome* 9, 170. <https://doi.org/10.1186/s40168-021-01117-7>

Hivatkozott világháló oldalak:

[1] TRY PLANT TRAIT DATABASE. <https://www.try-db.org/TryWeb/Home.php>
(Hozzáférés: 2025. 10. 24.)

HOROTÁN KATALIN¹, TÁBORSKÁ JANA^{2*}

AZ ELÉRHETŐ TERMÉSZET SZEMLÉLETE VÁROSI KERTEKBEN: A KERTÜNK VILÁGA OKTATÁSI PROGRAM BEMUTATÁSA

¹ Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, TTK, Állattani Tanszék

² Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, TTK,

Növénytani és Növényélettani Tanszék

*e-mail: jana.taborska@uni-eszterhazy.hu

Absztrakt

A városi életmód és a digitalizáció térnyerésével a gyermekek természethez való kapcsolódása fokozatosan gyengül, ami számos társadalmi és oktatási kihívást vet fel, és pszichés következményei is egyre inkább jelentkeznek. A tanulmány célja az „elérhető természet” koncepciójának bemutatása, amely a természethez való közvetlen kapcsolatot helyezi a környezeti nevelés középpontjába. A bemutatott *Kertünk világa* című gyakorlati program a városi kertet mint oktatási színteret használva moduláris felépítésben kínálja az élménypedagógiai és kutatásalapú tanuláson nyugvó foglalkozásokat. A program során a tanulók saját megfigyeléseiken és tapasztalataikon keresztül ismerik meg a természetes folyamatokat, miközben fejlődnek természettudományos, érzelmi és együttműködési kompetenciáik. A tanulmány példákon keresztül mutatja be, hogyan kínálhatjuk a természetközeli élményt a városban, és miként válhat egy városi iskolaudvar vagy közösségi kert a fenntarthatóságra nevelés komplex és motiváló tanulási terévé.

Kulcsszavak: elérhető természet, élménypedagógia, városi kert, biológiaoktatás, környezeti nevelés

KATALIN HOROTÁN^{1*}, JANA TÁBORSKÁ^{2*}

THE CONCEPT OF ACCESSIBLE NATURE IN URBAN GARDENS: PRESENTATION OF AN EDUCATIONAL PROGRAM – *THE WORLD OF OUR GARDEN*

¹ Department of Zoology, Institute of Biology, Eszterházy Károly Catholic University

² Department of Botany and Plant Physiology, Eszterházy Károly Catholic University

*e-mail: taborska.jana@uni-eszterhazy.hu

Abstract

With the spread of urban lifestyles and digitalization, children's connection to nature is gradually weakening, raising numerous social, and educational concerns, and its psychological consequences are also increasingly apparent. This study presents the concept of accessible nature, which emphasizes the direct and local experience of nature as a central element of environmental education. *The World of Our Garden* program applies urban gardens as learning environments, offering modular activities based on experiential and inquiry-based learning principles. Through observation and hands-on activities, students gain insight into natural processes while developing scientific thinking, emotional connection to nature, and cooperative skills.

The study shows through examples how we can offer the experience of being close to nature in the city and demonstrates how a schoolyard or community garden in an urban setting can become a complex and motivating learning space for sustainability education.

Keywords: accessible nature, experiential learning, urban garden, biology education, environmental education

Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben a városiasodás és az életmódbeli változások következtében a lakosság egyre ritkábban kerül kapcsolatba a természettel. Ez a tendencia különösen hangsúlyos a gyermekek és fiatal felnőttek körében (XU ÉS JIANG, 2022). A természetélmény hiánya egy több éve fennálló probléma, amelyre RICHARD LOUV (2008) a *nature-deficit disorder* kifejezést vezette be. Ez a fogalom nem csupán ökológiai ismerethiányt jelent, hanem a környezethez való érzelmi kötődés, a személyes felelősség és a cselekvésre való hajlandóság gyengülését is magába foglalja (DRIESSNACK, 2021).

A kapcsolatvesztés mozgatórugói több tényezőre vezethetők vissza: az urbanizált életforma térnyerése, a digitalizáció és a szabadidő eltöltésének megváltozása mind hozzájárulnak ahhoz, hogy a természet közvetlen megtapasztalása háttérbe szoruljon. Ezt a jelenséget SOGA ÉS GASTON (2016) a tapasztalás kihalásaként írták le. A gyermekkorból fokozatosan visszaszorúlnak azok a mindennapi tevékenységek, mint például a kinti játék, kertészkedés vagy kirándulás, amelyek korábban észrevétlenül biztosították az élővilághoz fűződő kapcsolatot. A természethez való kapcsolódás erősítése nemcsak oktatási, hanem közegészségügyi és társadalmi szempontból is lényeges feladat. Számos kutatás igazolja, hogy a természetélmény, a pszichés jóllét és a környezettudatos magatartás között szoros, kölcsönös kapcsolat áll fenn (BARRABLE ET AL., 2024; BONNIN, 2024).

Ebből is láthatóvá válik, hogy napjaink egyik fontos kihívása annak megtalálása, miként biztosítható az emberek számára a természet megtapasztalásának élménye a hétköznapi környezetben is (RICKINSON ET AL., 2004). Ebben a folyamatban a közoktatásnak kiemelt szerepe van, hiszen az iskola az egyetlen olyan intézmény, amely több korosztály számára is elérhető, valamint szervezett keretek között képes megteremteni a természethez való kapcsolódás lehetőségét (LÜKŐ, 2025). Az oktatás révén a természetélmény tudatosan beépíthető a tanulási folyamatba, ezáltal fokozatosan fejleszthetők azok a kulcskompetenciák – mint a megfigyelés, a gondolkodás, az együttműködés és a felelősségvállalás –, amelyek a fenntarthatósági szemlélet alapját is képezik.

Bár a természethez való kapcsolódás minden korosztály számára fontos (PÉNZESNÉ, 2025), az oktatási rendszeren belül elsősorban a természetismeret, környezetismeret, természettudomány, földrajz és biológia tantárgyak biztosítják azt a tartalmi és módszertani keretet, amelyben a tanulók nemcsak elméleti tudást szerezhetnek a természetről, hanem közvetlen élményeken keresztül is felfedezhetik annak közelségét és értékét.

A koncepció alapjai részben a *nearby nature* (WELLS & EVANS, 2003) és a *place-based education* (SOBEL, 2004) megközelítésekkel rokoníthatók, ugyanakkor az *elérhető természet* (*accessible nature*) fogalom a magyar oktatási gyakorlatban pedagógiai és társadalmi szempontból újraértelmezett keretként fogható fel (GROULX ET AL., 2022). A megközelítés

célja, hogy minden tanuló számára elérhetővé tegye a természet megtapasztalását, függetlenül attól, hogy milyen földrajzi, gazdasági vagy infrastrukturális környezetben él. Ebben a megközelítésben az „*elérhető természet*” a természet közvetlenül megtapasztalható, gondozható és megfigyelhető formáit jelöli, amelyek nem igényelnek távoli terepi helyszíneket. Ilyen *elérhető természet* lehet egy városi közösségi kert, egy iskolaudvar zöldfelülete, egy háztáji kert, de akár egy közeli park vagy újabban egy tetőkert is. Ezek az élőhelyek, annak ellenére, hogy antropogén környezetbe ágyazottak, lehetőséget kínálnak a természetes folyamatok és az ökológiai kölcsönhatások közvetlen megfigyelésére, valamint a biológiai sokféleség megtapasztalására.

A városi kert mint oktatási helyszín az *elérhető természet* egyik legkézenfekvőbb példája. Az iskolai vagy közösségi kertekben a tanulók aktív részeseivé válhatnak az élővilág megismerésének és alakításának: ültetnek, megfigyelnek, gondoznak, és tevékenységüket akár adatgyűjtéssel is kiegészíthetik (HALBRITTER, 2021; GYÖRÖSSY, 2025). Mindez elősegíti az élményszerű tanulást, a környezettudatos viselkedés kialakulását, valamint a helyi természeti értékekhez való érzelmi kötődést (SOBEL, 2004; ZSÓKA ET AL., 2013). A kertben megvalósuló tanulási folyamatok így nemcsak ismeretátadást, hanem szemléletformálást is jelentenek: a természet mint elérhető, formálható és értékes környezet jelenik meg a tanulók gondolkodásában (ALBERT ET AL., 2018).

Kiemelendő, hogy az ilyen tanulási terek nem pusztán megfigyelési helyszínek, hanem akár aktívan alakítható élőhelyek is. A tanulók cselekvésein keresztül közvetlen, személyes élményként tapasztalják meg a természet dinamikáját, a növény–állat kapcsolatokat, az élőlények adaptációs stratégiáit és az élőhelyek változását (ALEXANDER ET AL., 2022; WALSHE ET AL., 2024). Ez a megközelítés összhangban áll a fenntarthatóság pedagógiájának alapelveivel, amelyek az ismeretszerzés mellett a felelősségteljes cselekvésre és együttműködésre is nevelnek (HORVÁTH, 2022). Az *elérhető természet* koncepciója lehetővé teszi, hogy a pedagógusok és környezeti nevelők a helyi, könnyen elérhető, esetleg egyszerűen kialakítható zöldterületekre építve teremtsék meg a természetélmény feltételeit. Hazai tapasztalatok szerint (HALBRITTER, 2021) az ilyen kiskerti és udvari programok különösen hatékonyak a tanulói motiváció növelésében, a megfigyelőképesség fejlesztésében és a természethez való pozitív érzelmi viszony kialakításában.

Ennek a tanulmánynak a célja, hogy bemutassa gyakorlati példákon és feladatokon keresztül, miként válhat a városi kert, egy iskolaudvar vagy éppen egy park az *elérhető természetet* biztosító helyszínné, amely nem csupán a biológiai ismeretszerzést, hanem a természethez való személyes viszony, a felelősségtudat és az aktív részvétel fejlődését is elősegíti.

A városi kert jelentősége az elérhető természet szemléletében

A kert mint tanulási tér mélyen gyökerezik a magyar pedagógiai hagyományban. Már a 19. században Entz Ferenc, majd később Apáczai Csere János és Herman Ottó is hangsúlyozták a természetben végzett megfigyelések és a gyakorlati tapasztalatszerzés fontosságát. A 20. század elején létrejött iskolakert-mozgalom célja az volt, hogy a tanulók a természeti folyamatok megismerését gyakorlati tevékenységek révén tapasztalják meg (OHLY ET AL., 2016). A rendszerváltás utáni évtizedekben ez a hagyomány több civil és szakmai kezdeményezés révén éledt újjá (HALBRITTER, 2021; KERESKESNÉ, 2024). A nemzetközi gyakorlatban az *urban gardening* és a *garden-based learning* irányzatok terjedése hasonló folyamatot jelez: a városi kertek ma már nemcsak termelési, hanem oktatási, közösségi és ökológiai terek is (GUITART ET AL., 2012; WALSHE ET AL., 2024). A városi kert így a 21. századi fenntarthatósági nevelés egyik szimbolikus tere, ami egyszerre jelenti a természet visszahozását a városba és az ember visszakapcsolását a természetbe (BLAIR, 2009).

A fentebb kifejtett szempontok alapján az élményszerű tanulás megvalósításához a városi kertet választottuk kísérleti és foglalkozási helyszíneként. Programunk elsődleges célcsoportját az általános iskolás korosztály alkotja. Saját fejlesztésű, eredeti foglalkozássorozatot dolgoztunk ki, amelyhez önálló taneszközöket és segédanyagokat is készítettünk. A foglalkozásokhoz kötődő tanulási helyzetek több tantárgyhoz és kulcskompetenciához illeszkednek. A Nemzeti alaptanterv (2020) által meghatározott fejlesztési területek, különösen a természettudományos megismerés, a fenntarthatóságra nevelés és az együttműködési készség fejlesztései egyaránt megvalósulnak (1. táblázat).

Tantárgy / Műveltségi terület	Kapcsolódási lehetőségek	Fejleszthető kompetenciák
Természetismeret (3–4. évfolyam)	Élőlények megfigyelése, évszakos változások, életnyomok az udvarban	Megfigyelőképesség, rendszerezés, érzelmi kötődés a természethez
Környezetismeret (5–6. évfolyam)	Ember és környezet kapcsolata, élőhelyek, városi ökoszisztémák	Összefüggések felismerése, problémamegoldás, környezettudatos gondolkodás
Biológia (7–12. évfolyam)	Ökológiai hálózatok, beporzók szerepe, adaptációs mintázatok	Kritikus gondolkodás, kísérlettervezés, adatgyűjtés, rendszerszemlélet
Földrajz	Városi zöld infrastruktúra, klíma és környezet kapcsolata	Térbeli gondolkodás, rendszerszemlélet
Technika és életvitel	Kertgondozás, komposztálás, fenntartható életmód	Gyakorlati problémamegoldás, együttműködés
Vizuális kultúra	Természeti mintázatok, színek	Észtétikai érzék, kreativitás, megfigyelés

1. táblázat: A városi kert oktatási kapcsolódásai és fejleszthető kompetenciák a NAT alapján

Gyakorlatok a városi kertben: a Kertünk világa program

A *Kertünk világa* című foglalkozássorozat szorosan kapcsolódik az iskolai tananyaghoz, azonban annak rendszerét csak részben követi. Célunk, hogy az aktuálisan megfigyelhető, megtapasztalható természeti jelenségekre építsünk, és ezekhez kapcsolódóan emeljünk ki egyes, időszakosan releváns témákat. A közvetlen tapasztalás és az érzelmi bevonódás révén a tanulók mélyebb élményt és – reményeink szerint – tartós tudást szereznek. A programot 2017 óta folyamatosan fejlesztjük és bővítjük. A program szerkezetében az élménypedagógia és a kutatásalapú tanulás (*inquiry-based learning*) elemei egyaránt megtalálhatóak. A tevékenységek középpontjában a tanulói aktivitás, az érzékszervi tapasztalás és a kooperatív feladatmegoldás áll. Az ismeretszerzés nem elszigetelt tanórai esemény, hanem hosszabb távú megfigyelési és alkotási folyamat, amely lehetőséget teremt a projektpedagógiai megvalósításokra is. A különböző foglalkozások modulárisan épülnek egymásra: az élőhelyek megismerését követi a fajok azonosítása, az ökológiai kapcsolatok feltárása, majd a terepi vizsgálatok és kísérletek. Jelen tanulmányban a legjobban bevált, legsikeresebb foglalkozásokat mutatjuk be, amelyek inspiráló mintául szolgálhatnak a pedagógusok számára ahhoz, hogy elősegítsék a gyermekek természethez fűződő pozitív érzelmi kapcsolatának megerősödését, és formálják ökológiai szemléletüket is.

Élőhelyek a kertben

A program első lépése az élőhelyek felismerése és az egyes élőhelyek jellemzőinek megfigyelése, értelmezése. A tanulók játékos, kártyás vagy poszteres formában fedezik fel a kert különböző részeit (pl. komposzt, gyógynövénykert, méhlegelő, kerti tó). A feladat célja a különböző élőhelyek rendszerezése és a természet szerveződésének megértése, miközben fejlődik a megfigyelőképesség és a kooperáció. Az élőhelyek feltérképezése a későbbi foglalkozások alapját adja, mert rávilágít arra, hogy a városi kert is komplex ökoszisztémaként működik.



1. ábra: Hangolódó memóriajáték és a kerti élőhelyek megismerése

Faj-élőhely párosítás és színfelismerés

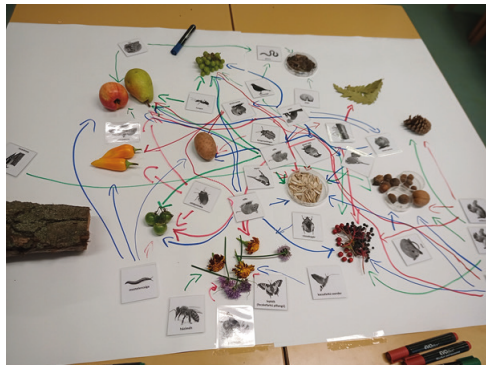
Az élőhelyek feltérképezése után a tanulók megismerkednek a kert jellegzetes állat- és növényfajaival. A feladatban különböző fajakártyák segítségével társítják a fajokat az élőhelyekhez, majd illat- és színfelismeréssel egészítik ki a megfigyelést. Az alsóbb évfolyamokon ez játékos formában valósul meg, míg a felsőbbeknél már a növény- és rovarhatározók használata is megjelenhet. A feladat fejleszti a vizuális differenciálást, az érzékelést, az esztétikai érzéket, és elősegíti a természethez való érzelmi viszonyulás kialakulását.



2. ábra: Színek felismerése és összekapcsolása növény- és állatfajokkal

Tápláléklánc a kertben

Az élőhelyek és fajok ismeretére építve a tanulók a kert ökológiai kapcsolatrendszerét vizsgálják. A feladat célja a táplálékláncok felépítésének megértése, termelők, fogyasztók, lebontók felismerése, valamint a természetes egyensúly megértése. A tevékenység során fajkártyákból vagy terepi megfigyelések során észrevett fajokból építenek tápláléklánccokat, megbeszélve ezekben az ember szerepét és a városi környezet hatását is. A feladat fejleszti a rendszerszemléletet, a kritikus gondolkodást és az ok-okozati összefüggések felismerését (3. ábra).



3. ábra: Tápláléklánc összeállítása az előre elkészített fajkártyákból és gyűjtött „hozzávalókból”

Városi séta és madármegfigyelés

A program a kert határain túlra is kiterjed: a tanulók rövid sétát tesznek az iskola környékén, ahol megfigyelik a városi természet elemeit (parkok, fasorok, díszágyások, útszegélyek, zöldtetők, beporzók, madarak). Ennek egy módja lehet, ha a foglalkozásvezető előzőleg táblákat helyez ki, például fákra, amelyeket fel kell keresni. A téli időszakban madáretetéshez kapcsolódó megfigyeléseket is végezhetnek. Ez a tevékenység a természet állandóságát és változását egyaránt bemutatja, miközben erősíti a felelősségérzetet és a környezeti tudatosságot (4. ábra)



4. ábra: Kihelyezett táblák az iskolaudvaron vagy akár a parkban is segítik a felfedezést

Kis terepi vizsgálatok

A program záró egységeként a tanulók klasszikus ökológiai terepi eszközöket is kipróbálhatnak (talajcsapda, fűhálózás, kopogtatóernyőzés, növényhatározás). A cél a megfigyelésből az adatgyűjtés és következtetés irányába való elmozdulás, amely lehetővé teszi a projektmunkaszerű feldolgozást. A tanulók hipotéziseket fogalmazhatnak meg, adatokat gyűjtenek és következtetéseket vonnak le. Ez a szakasz már a tudományos gondolkodás alapjait fejleszti.



5. ábra: A gyűjtött anyagok azonosítása és a határozás lépéseinek megismerése is hasznos eleme a foglalkozásnak. A határozóbélyegek megismerése történhet például növény- és rovarpreparálás közben is.

A bemutatott programelemekről elmondhatjuk, hogy a tevékenységeik modulárisan egymásra épülnek, ugyanakkor önállóan is megvalósíthatók különböző tanórai, szakköri vagy projektheti keretek között. A 2. táblázat összefoglalja a *Kertünk világa* program fő elemeit, fejlesztési céljait és az egyes programelemekhez javasolt korosztályokat.

Tevékenységi egység	Leírás és cél	Fejlesztett kompetenciák / tantárgyi kapcsolódás	Javasolt korosztály
Élőhelyek a kertben	A kert élőhelyeinek és funkcióinak megismerése játékos, interaktív formában	Természetismeret, környezetismeret; megfigyelés, rendszerzés, együttműködés	3–6. évf.
Faj-élőhely párosítás és színfelismerés	Állat- és növényfajok beazonosítása, elhelyezésük az élőhelyekhez, illat- és színfelismeréssel kiegészítve	Környezetismeret, vizuális kultúra; érzékelés, esztétikai nevelés, empátia	3–8. évf.
Tápláléklánc a kertben	A helyi fajok közötti kapcsolatok (termelők–fogyasztók–lebontók) megértése és megjelenítése csoportmunkában vagy terepen	Biológia; rendszer szemlélet, kritikus gondolkodás, problémamegoldás	5–8. évf. (9–12. évf.)
Városi séta és madár-megfigyelés	A városi kert kiterjesztése a közvetlen környezetre: park, udvar, zöldfelületek, rovarhotel, fásszárúak vizsgálata; állandó és téli madárfajok megfigyelése, viselkedés- és táplálék-megfigyelés	Környezetismeret, biológia, földrajz; helyi ökológia, terepi adatgyűjtés, felelősségvállalás	5–12. évf.
Kis terepi vizsgálatok	A klasszikus terepi eszköztár (kvadrát, hálózás, talajcsapda) egyszerűsített alkalmazása tanulói projekt keretében	Biológia, fenntarthatósági nevelés; adatgyűjtés, hipotézisalkotás, csapatmunka	7–12. évf.

2. táblázat. A *Kertünk világa* program tevékenységei, fejlesztési céljai és kompetenciák

A *Kertünk világa* program főbb tevékenységei rávilágítanak arra, hogy a városi kert és környezete minden korosztály számára komplex tanulási teret kínál, amely egyszerre fejleszti az ismeretszerző, érzékelő és együttműködési kompetenciákat. A foglalkozások középpontjában a tapasztalati tanulás és a személyes élmény áll, amely képes felébreszteni az érdeklődést a természet és az ökológiai gondolkodás iránt minden korosztályban.

Összegzés

A biológia és környezeti nevelés szempontjából az *elérhető természet* szemlélet olyan pedagógiai lehetőség, amely minden tanuló számára hozzáférhetővé teszi a természet közvetlen megtapasztalását. A *Kertünk világa* program gyakorlati példái azt mutatják,

hogy egy városi kert vagy iskolaudvar is lehet teljes értékű tanulási tér, amely elősegíti a megfigyelésen, érzékelésen és együttműködésen alapuló kompetenciák fejlődését.

A foglalkozások nem igényelnek jelentős anyagi ráfordítást, moduláris felépítésüknek köszönhetően pedig rugalmasan beépíthetők különféle iskolai vagy szakköri keretek közé. A program során kiemelten fontos szerepet kap a tanulói aktivitás, a kreatív gondolkodás és a természethez való személyes kötődés. Mindezt elősegíti a megfelelően megtervezett időbeosztás és a tapasztalati tanulást támogató, fokozatosan építkező foglalkozássorozat.

A program során szerzett tapasztalataink alapján azt javasoljuk, hogy a digitális eszközök használatát a foglalkozások alatt érdemes minimálisra csökkenteni. A természetes közeg és a társas interakciók előtérbe helyezése nemcsak a figyelmet, hanem a belső motivációt is erősíti. A dinamikus és csendesebb, elmélyülést kívánó feladatok tudatos váltogatása szintén támogatja a hatékony tanulást.

Bár a program kültéri környezetre épül, egyes elemei beltérben is megvalósíthatók, azonban a természet közvetlen jelenlétének élménye pótolhatatlan. Ezért minden korosztály számára fontos, hogy legyen lehetőségük a természet közelségében tapasztalatot szerezni, hiszen ez az ökológiai gondolkodás, a környezettudatosság és az érzelmi kötődés alapja.

Irodalomjegyzék

- Albert, H. A., László, S., István, B., & Eszter, G. J. (2018). Napóra és társai: Környezeti és vizuális nevelés az iskolaudvaron. Karlovitz János Tibor (szerk.): *Elmélet és gyakorlat a neveléstudományok és szakmódszertanok köréből*. International Research Institute s.r.o., Komárno (Slovakia), 67–71.
- Alexander, G. K., & Grannum, D. R. (2022). School garden benefits: Health promotion and environmental conservation. *NASN School Nurse*, 37(2), 79–82. <https://doi.org/10.1177/1942602X211058783>
- Barrable, A., Friedman, S., & Beloyianni, V. (2024). Nature connection in adulthood: The role of childhood nature experiences. *People and Nature*, 6(4), 1571–1580. <https://doi.org/10.1002/pan3.10657>
- Blair, D. (2009). The child in the garden: An evaluative review of the benefits of school gardening. *The journal of environmental education*, 40(2), 15–38. <https://doi.org/10.3200/JOEE.40.2.15-38>
- Bonnin, P. (2024). Identifying and Removing Barriers to Accessibility in Environmental Education and Outdoor Recreation. Hamline University, Capstone Projects. https://digitalcommons.hamline.edu/hse_cp

- Driessnack, M. (2021). Ask the expert. Children and nature-deficit disorder. *Journal for Specialists in Pediatric Nursing: JSPN*, 14(1), 73–75. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6155.2009.00180.x>
- Groulx, M., Freeman, S., & Lemieux, C. (2022). Accessible nature beyond city limits—A scoping review. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 37, 100490. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2022.100490>
- Guitart, D., Pickering, C., & Byrne, J. (2012). Past results and future directions in urban community gardens research. *Urban forestry & urban greening*, 11(4), 364–373. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.06.007>
- Győrössy, K. (2025). Környezeti nevelés a főváros szívében. In: TRAMBULIN 1. – Fiatal Neveléstudósok Tanulmányai. Kusper, J. (szerk.) Líceum Kiadó, Eger. 73–81. <https://doi.org/10.46403/Trambulin1.2025.73>
- Halbritter, A. A. (2021). Az iskolakertek helyzete Magyarországon. In: Évkönyv, Újvidéki Egyetem Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, Szabadka 16(1), 108–121. https://doi.org/10.18485/uns_evkonyv.2021.7
- Horváth, R. (2022). A fenntarthatóság pedagógiája-A környezeti nevelés bemutatása az ökoiskola működésén keresztül. *Danubius Noster: Az Eötvös József Főiskola Tudományos Folyóirata*, 10(1-2), 79–98. <https://doi.org/10.55072/DN.2022.1-2.79>
- Kerekesné Futó, C. (2024). Óvodakert a csodák helye (szakdolgozat, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kaposvári Campus). <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://stud.mater.uni-mate.hu/7942/1/814331829.-pdf&ved=2ahUKEwi48s6VhMKRAxVJxgIHHZMeESYQFnoECBoQAQ&usq=AOvVaw1mk00kYxMTfyc0BcxIS1Yo>
- Louv, R. (2008). *Last child in the woods: Saving our children from nature-deficit disorder*. Algonquin books of Chapel Hill, USA.
- Lükő, I. (2025). *A remény pedagógiája*. Publio Kiadó Kft.
- NAT. (2020). Nemzeti alaptanterv. Emberi Erőforrások Minisztériuma https://www.oktatas.hu/koznevelés/kerettantervek/2020_nat
- Ohly, H., Gentry, S., Wigglesworth, R., Bethel, A., Lovell, R., & Garside, R. (2016). A systematic review of the health and well-being impacts of school gardening: synthesis of quantitative and qualitative evidence. *BMC public health*, 16(1), 286. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-2941-0>
- Pénzesné Kónya, E. (2025). A növények kommunikációjának oktatása: Hogyan győzhetjük le a növényvaktságot? *Acta Universitatis de Carolo Eszterházy Nominatae. Sectio Biologiae*, 49, 155.

- Rickinson, M., Dillon, J., Teamey, K., Choi, M. Y., & Benefield, P. (2004). A review of research on outdoor learning. National Foundation for Educational Research and King's College London.
- Sobel, D. (2004). Place-based education: Connecting classrooms and communities. *Nature Literacy Series*.
- Soga, M., & Gaston, K. J. (2016). Extinction of experience: the loss of human–nature interactions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(2), 94–101. <https://doi.org/10.1002/fee.1225>
- Walshe, R., Evans, N., & Law, L. (2024). School gardens and student engagement: A systematic review exploring benefits, barriers and strategie. *Issues in Educational Research*, 34(2), 782–801.
- Xu, J., & Jiang, A. (2022). Effects of nature contact on children's willingness to conserve animals under rapid urbanization. *Global Ecology and Conservation*, 38, e02278. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02278>
- Zsóka, Á., Szerényi, Z. M., Széchy, A., & Kocsis, T. (2013). Greening due to environmental education? Environmental knowledge, attitudes, consumer behavior and everyday pro-environmental activities of Hungarian high school and university students. *Journal of cleaner production*, 48, 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.030>

UJFALUDI LÁSZLÓ

TERRAFORMÁLÁS – IDEGEN BOLYGÓK LAKHATÓVÁ TÉTELE

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Fizika Tanszék
e-mail: ujfaludi.laszlo@uni-eszterhazy.hu

Absztrakt

A terraformálás olyan hipotetikus eljárás, amelynek során egy égitest felszínét és ökoszisztémáját úgy alakítanák át, hogy az emberek számára megfelelő élőhely legyen. Egyelőre csak a Mars jöhet szóba mint lehetséges célpont, de ez is több szempontból vitatott. Nem állnak rendelkezésre megbízható, jól bevált módszerek a terraformálás végrehajtására, továbbá megbízható becslések szerint a művelet sok ezer éves projekt útján lenne végrehajtható. A gazdasági háttér biztosítása ilyen időtávon kétséges, mivel a várható eredmény rendkívül bizonytalan.

Kulcsszavak: terraformálás, élőhely, gazdaságosság, science fiction

LÁSZLÓ UJFALUDI

TERRAFORMING – MAKING ALIEN PLANETS INHABITABLE

Eszterházy Károly Catholic University, Department of Physics
e-mail: ujfaludi.laszlo@uni-eszterhazy.hu

Abstract

Terraforming is a hypothetical process in which the surface and ecosystem of a celestial body would be transformed to make it a suitable habitat for humans. So far, Mars has been the only possible destination, but this is also controversial in several aspects. There are no reliable, well-proven methods for carrying out terraforming, and reliable estimates suggest that the operation would be a project lasting many thousands of years. Ensuring the economic background over such a long period of time is doubtful, since the expected result is extremely uncertain.

Keywords: terraforming, habitat, economy, science fiction

Bevezetés

A terraformálás (Williams, 2016) olyan hipotetikus eljárás, amelynek során egy bolygó, egy hold vagy más égitest légkörét, hőmérsékletét, felszínét és ökoszisztémáját úgy alakítanák át, hogy az hasonlónak váljon a Földhöz, és így emberek számára megfelelő élőhely legyen. A NASA űrszondái eddig több mint 5000 idegen csillag körül keringő (extraszoláris) bolygót fedeztek fel, ezek között nagy számú Földhöz hasonló lehetne (elvileg) megfelelő élőhelyünk (Kiss, 2024). A reális lehetőségek azonban igen korlátozottak. A legközelebbi „lakhatónak” ítélt extraszoláris bolygó a Proxima Centauri bolygója, a Proxima-b, amelynek Földtől való távolsága 4,25 fényév. Ennek elérése a jelenleg ember által alkotott legyorsabb űrhajóval, a Voyager-2-vel (sebessége: 58.000 km/h) több mint 80.000 évig tartana. A realitásokat figyelembe véve terraformálás szempontjából egyelőre (és valószínűleg még igen hosszú ideig) csak a Naprendszer egyes objektumai jöhetnek szóba.

Terraformálás – tudomány és science fiction

A nyugati műszaki irodalomban az a nézet vált általánossá, hogy a technika eszköz arra, hogy egy anyagiakban gazdag, modern társadalmat hozzunk létre. Eleme még a „mérnök” dicsőítése és az egyetértés abban, hogy óriási léptékű műszaki projektekkel „legyőzhetjük” és „megjavíthatjuk” a természetet olyan erőforrásokat hasznosítva, amelyek egyébként kárba vesznének (SCHMIDT, 2010).

A legkorábbi „kemény science fiction”-ben (1930-1960) ez a nézet uralkodó, majd még a 60-as években is jellemző volt a tudományban és a science fictionben is. SCHMIDT meghatározása szerint (2010) a „kemény science fiction” olyan mű, amely természettudományos alapon áll, nem a fantasztikus elem dominál benne.

Carl Sagan volt az első (SAGAN, 1960), aki felvetette a terraformálás lehetőségét mint az emberek más bolygókra történő áttelepülési módját a Földet sújtó valamilyen katasztrófa vagy – hosszabb távon – bolygónk lakhatatlanná válása esetére. Elhíresült indoklása szerint:

„Mivel hosszú időtávon minden civilizáció ki van téve az űrből jövő veszélyeknek, a túlélés érdekében űrutazóvá kell válnia; nem a felfedezés vágyától, vagy valamilyen romantikus hevülettől hajtva, hanem az elképzelhető legpraktikusabb okból: életben maradása érdekében. Ha hosszú távú túlélésünk a tét, fajunk iránti elemi kötelességünk más világok felkutatása.”

Más vélemények megkérdőjelezték a terraformálást jogi, módszertani és morális oldalról. Egyes szerzők, pl. MILLER (1953) kétségbe vonták a korábbi szerzők által felvetett lehetőségeket. Miller víziója a terraformálásról fájdalomról, áldozatokról és ürességről szól. BLISH (1957) úgy jellemzi a terraformálást, mint az uralkodó körök eszközét az emberi

szabadság elnyomására és az állandó kiszolgáltatottságra. ANDERSON (1964) szerint kérdéses, hogy az emberiség képes-e ellenállni a planetáris imperializmusnak, ahol (mint Földünk esetén ez nyilvánvaló) a profithajszó konfliktusban van a természetes környezettel és a különböző életformákkal.

A technika negatív hatásai fordulatot hoztak, és az „újhullám science fiction” már szkeptikus hangot ütött meg a technikával szemben, ellentétben a „kemény science fiction” narratívájával és értékítéletével. A technikapártiak elutasították ezt a pesszimizmust. Szerintük az erőforrások kimerülése és a túlnépesedés pont olyan problémák, amelyeket a technika tud megoldani.

Vannak, akik – például Carl Sagan, LOVELOCK (1990) Gaia hipotézisén felbuzdulva – a terraformálást mint egy biológiai folyamatot fogják fel. De lényegében ez is a technikán alapul, mivel biotechnológiára és összetett technológiai folyamatokra épül. Mások úgy vizionálták az idegen bolygók terraformálását, ahogyan Amerika első telepesei birtokba vették az Újvilág területeit és erőforrásait, és ott korszerű mezőgazdaságot és ipart hoztak létre.

A Mars terraformálása – problémák (SCHMIDT, 2010; BLISH, 1957)

a) Intenzív kozmikus sugárzás

Mivel a Mars légköre igen ritka, és mágneses tere egyáltalán nincs, az élőlények ki vannak téve a kozmikus sugárzás ártalmainak.

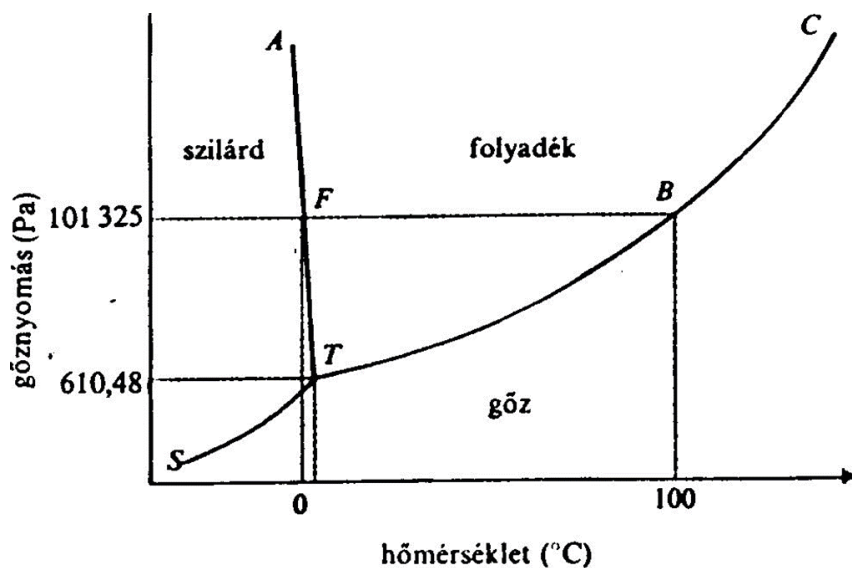
b) Porviharok

Kiszámíthatatlan időközönként hatalmas porviharok keletkeznek, a por a tárgyakat belep, a por eltávolítása (pl. a tervezett átlátszó, zárt építmények külső felületéről) jelentős problémát okozhat, az ott tartózkodóknak látási problémái lehetnek, csökken a növények megvilágítása. A por pontos összetételét sem ismerjük, tartalmazhat toxikus anyagokat is.

c) Vízkészlet

A vízkészletek előállításának problémája. Egyes tanulmányok szerint vizet a sarki jég megolvasztásával lehet nyerni. Honnan nyerhetik ehhez az energiát? Az egyik lehetséges válasz: óriási tükrökkel a napsugárzást a jégre vetítik. A problémák ezzel a megoldással:

- A Mars felületén a napsugárzás intenzitása 42%-a a földiének. A sarkokon ennek csak a töredéke várható.
- Az alacsony légnyomás miatt a folyékony víz rögtön elpárolog, ha nem egy zárt rendszerben tárolják. A jelenség a víz fázisdiagramja (1. ábra) alapján magyarázható.



1. ábra. A víz fázisdiagramja

Folyékony állapotú víz csak az AFTBC-vonal fölött lehet. Az ún. hármas pont (T) nyomása: 610,48 Pa (6,03 millibar). Ahol a nyomás ennél kisebb, ott 0 °C vagy az alatti hőmérsékleten csak jég vagy gőz állapotú víz lehet.

A Mars átlagos légnyomása: 7 millibar, ami kevéssel fölötté van a hármas pontnak, tehát elvileg lehet folyékony víz is (0 °C fölötti hőmérsékleten). A legkisebb légnyomáscsökkenés esetén azonban ez a lehetőség megszűnik. Folyékony víz a sarki jégtakarók alatt lehet, a jég által létrehozott magas nyomás következtében.

d) A talaj szervesanyag-tartalma

A talaj nem tartalmaz szerves anyagot, csak bizonyos nyomelemeket (leginkább a regolit nevű ásványra hasonlít). Ha növénytermesztést akarnak megvalósítani, akkor a szerves anyagot kívülről kell bevinni.

e) Gravitáció

A Marson a tárgyak súlya csak 38%-a a földi súlynak. Kérdés, hogy ez milyen problémákat vet fel az élőlények biológiai folyamataival kapcsolatban. A Nemzetközi Űrállomáson a személyzetnél csonttritkulás és izomatrófia (izomsorvadás) jeleit és a kardiovaszkuláris rendszer problémáit tapasztalták (JONES, 2021). Az egészségügyi problémák kiküszöbölésére több megoldás született, például az izomsorvadás és csontvesztés megelőzése speciális testező gyakorlatokkal (BELYAEV ET AL., 2011). Van olyan elképzelés, hogy a Marson az embereknek naponta bizonyos ideig centrifugákban kell tartózkodni az említett problémák

megelőzésének céljából (JONES, 2021). Az embriók fejlődése is függ a gravitációtól, a madaraknál és kétéltűeknél a gasztrulációnál gravitáció nélkül nem megy végbe megfelelően a sejtváándorlás, az embriogenezis megszakad a súlytalanság állapotában. Az emlős-embriogenezis kevésbé gravitációfüggő folyamat, ennek ellenére a mikrogravitációs körülmények között megszakad, azok a reakciók aktiválódnak, amelyek az erőteljes stresszhatásokat jelzik, és az embrió pusztulását okozzák (RUDEN ET AL., 2018). Vannak olyan tervek, hogy állatokat küldenek a Marsra, hogy vizsgálják azok reprodukciós képességét az ottani körülmények között. Az első betelepülőknek (2. ábra) tehát számos nehézséggel kell szembenéznük.

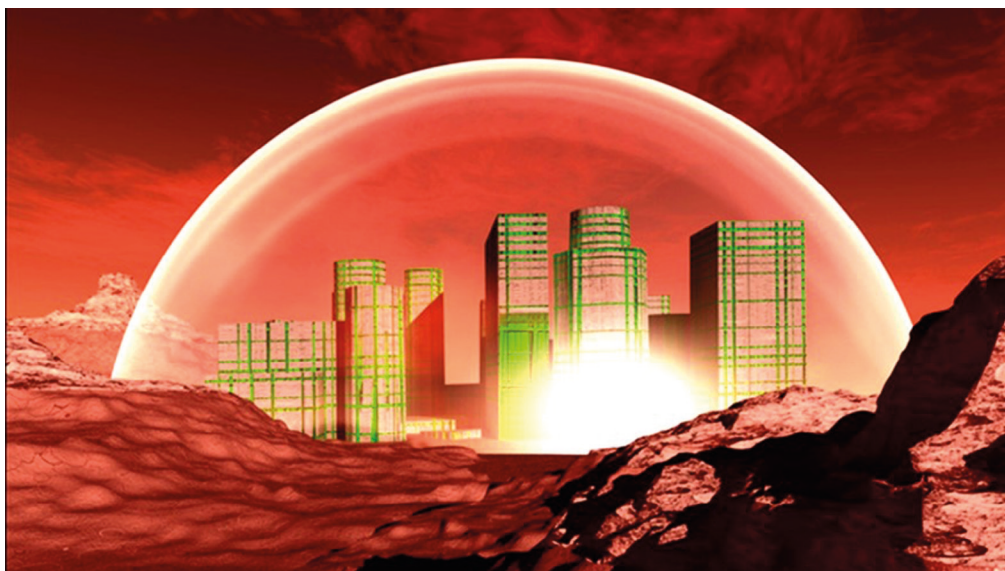


2. ábra. A Mars terraformálása. Az első betelepülők munkában (fantáziakép).

Egy konkrét terv a marsi élhető környezet létrehozására (McKAY, 1987) úgy próbálná a Mars terraformálását elérni, hogy először üvegházgázokat vezetne be a légkörbe, például a sarki jégsapkák megolvasztása nyomán nagy mennyiségű CO_2 szabadulna fel. Amikor a hőmérséklet eléri az élet számára megfelelő értéket, a kutatók mikrobákat helyeznek el különböző helyszínekre, ezek szintetizálják a többi élőlény számára nélkülözhetetlen kemikáliákat, molekuláris diverzitást hoznak létre és oxigént termelnek. Egy idő után növényeket és fákat ültethetnének, ezek még több oxigént termelnek, és végül a vörös bolygó alkalmas emberi településsé válhat. Ehhez persze türelem kell, mondja McKay, sok-sok generáció türelme és kitaró munkája. Becslése szerint a teljes terraformálás időszükséglete körülbelül 100 ezer év.

Egy alternatív lehetőség az ún. „para-terraformálás”

A para-terraformálás lényege, hogy a bolygót fokozatosan teszik lakhatóvá. Először csak néhány – megfelelően kiválasztott helyszínen – építenének üvegházakat, azokban hajtanák végre a terraformálás előző bekezdésben leírt műveleteit (SCHARPING, 2016). A zárt építményekben a megfelelő légkör és hőmérséklet kialakítása egyszerűbb, és az építmény védelmet nyújtana az intenzív sugárzás ártalmaitól ellen is. Továbbra is probléma lehet azonban a porviharok következményeinek elhárítása (lásd fentebb) (NICHOLS, 2017).



3. ábra. Para-terraformálás a Marson (fantáziakép)

A Bioszféra II kudarca

1991-ben Arizonában egy 2700 m² alapterületű, 200 ezer m³ térfogatú zárt üvegházakat építettek (4. ábra), amelyben egy 8 fős személyzettel önfenntartó ökoszisztémát kívántak létrehozni. Két kísérlet történt, az első 2 évig, a második 8 hónapig tartott. Mindkettő sikertelennek bizonyult (CORNELIUS, 2021). Az alapvető problémák: az oxigénszint folyamatos csökkenése, fokozódó táplálékhány, egyes állat- és növényfajok kihalása.

(Az impozáns épületegyüttest, akkor már üresen, 1994 tavaszán láttuk az egri főiskola akkori környezettan szakos hallgatóival, akikkel Arizona nemzeti parkjait látogattuk végig.)

Azóta ennek az építménynek egy kisebb szekciójában egy rövidebb programot folytattak, amelyben a Mars felszíni körülményeit próbálták modellezni. Egy hasonló, rövid ideig tartó kísérlet történt Hawaiiiban, a Mauna Loa hegy lejtőjén, mindkét vállalkozás csak igen mérsékelt sikerrel járt (BODNÁR, 2024).



4. ábra. A Bioszféra II épületegyüttese Arizonában

Alternatív elképzelések

Kolóniák a Holdon

A Hold kedvező közelsége vonzó elképzelés lehet űrkolóniák létesítése szempontjából. Elérési ideje a Mars fél évéhez képest csekély: néhány nap, üzemanyagigénye jóval szerényebb, a kommunikáció jóval egyszerűbb. A légkör létrehozása azonban itt illuzórikus. Egy konkrét terv szerint a 40 km átmérőjű Shackleton-kráterben felépítenének egy 1500 m magasságú kupola alatti zárt várost (para-terraformálás), amelyben 10.000 telepes tartózkodhatna, miután robotokkal előkészítenék a tartózkodáshoz alkalmas körülményeket (WARMFLASH, 2014).

A Vénusz terraformálása

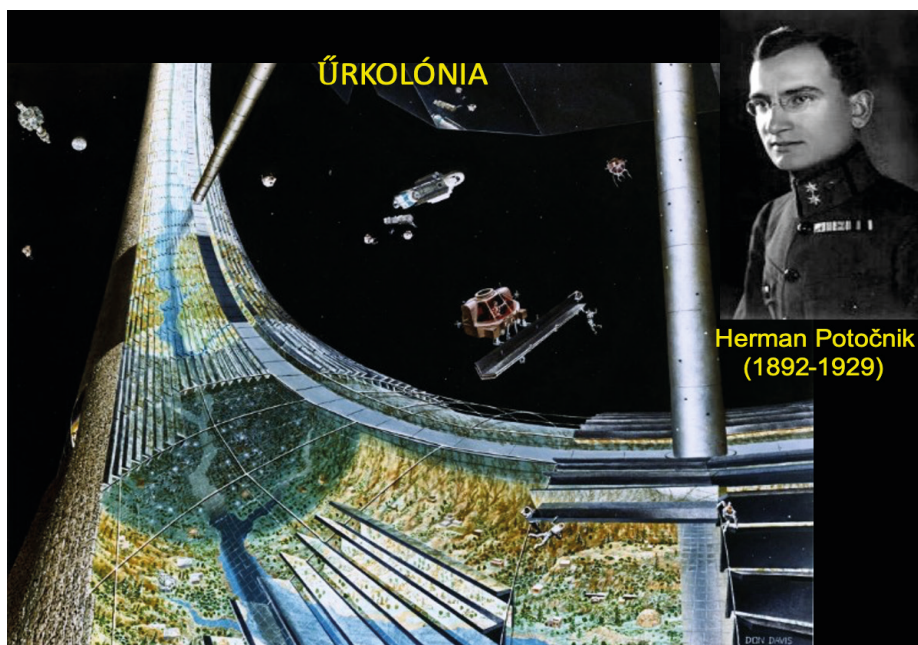
Egyes (igen merész) elképzelések szerint a Vénusz terraformálása is megoldható. A megoldás: termofil mikroorganizmusokat telepítenek oda, majd „various chemical tricks” (különböző kémiai trükkök) alkalmazásával csökkentenék a szén-dioxid mennyiségét (LANDIS, 2012).

Ehhez a mesébe illő elképzeléshez két megjegyzést lehet fűzni:

- 1) nem léteznek olyan termofil élőlények, amelyek képesek lennének túlélni a Vénusz felszínének közel 500 °C-os hőmérsékletét;
- 2) ha léteznek az emlegetett „kémiai trükkök”, azokat miért nem alkalmazzák a Föld légköri szén-dioxid-tartalmának csökkentésére?

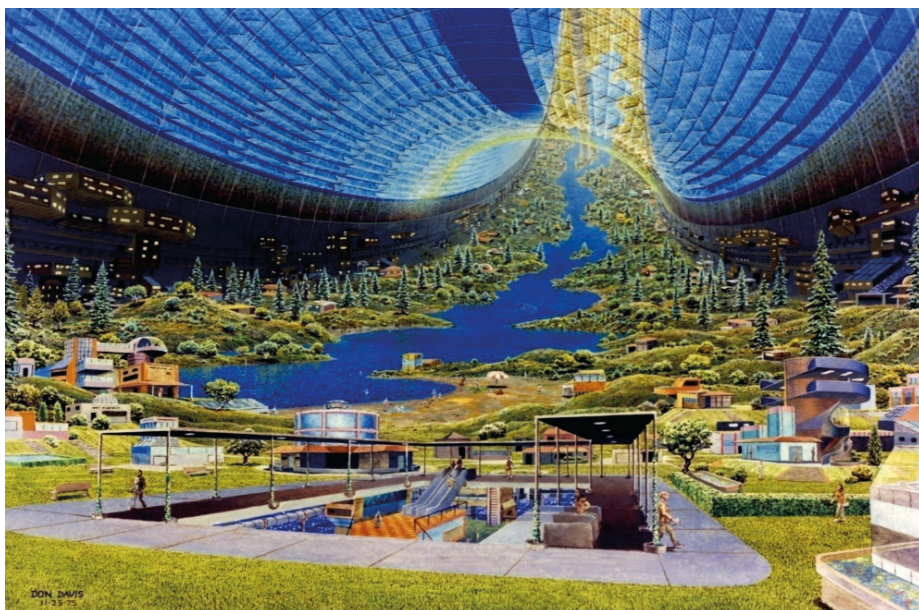
Űrkolóniák

Az űrkolóniák ötletét Herman Potočnik (1892–1929) szlovén származású mérnök-katonatiszt alapozta meg 1929-ben. Leírta egy olyan űrállomás tervét, amely az űrkatatók hosszú távú lakhelye lehet (ПОТОЧНИК, 1929). Az űrállomás koszorú (tórusz) alakú, a gravitációs erőt a tórusz forgó mozgásából származó centrifugális erő helyettesíti (5. ábra).



5. ábra. Hermann Potocnik tervei alapján elképzelt űrkolónia fantáziaképe

O’NEILL „modernizálta” Potočnik tervét (1977), és olyan űrkolóniák tervét vázolta fel, amelyek átmérője 100 km nagyságrendű, és több 10 ezer személy befogadására alkalmasak. Az 5. és a 6. ábrán egy-egy gigantikus űrkolónia fantáziaképe látható. Meg kell jegyezni, hogy az ilyen űrkolóniáknak jelenleg semmi reális alapja nincs, nem szerepelnek az űrkutatási tervek között sem.



6. ábra. Egy űrkolónia belső terének fantáziaképe

A terraformálás tudomány vagy science fiction?

Felvetődik a kérdés: vajon hol van a határ a professzionális tudomány és a „kemény science fiction” között (SCHMIDT, 2010)? A terraformálás bizonyos fokig megtartja tudományos megalapozottságát. Hivatásos tudósok – Carl Sagantól Christopher McKayig és Robert Haynesig tanulmányozták és fejlesztették tovább módszereit. A terraformálás gondolatát egy sor szigorúan lektorált és professzionális folyóirat – a spekulatívabb stílusú *Journal of the British Interplanetary Society*től a konzervatívabb *Nature*-ig és *Science*-ig – közölte. A témát számos tudományos konferencián is megvitatták. De tudomány ez? Sok eleme azt sugallja, hogy nem!

Először: Ez egy olyan tevékenység, amely nem verifikálható semmilyen elfogadható módszerrel. Semmilyen kísérleti módszer nem létezik annak igazolására, hogy a kívánt cél elérhető. Szintén nincs mód annak meghatározására, hogy egy terraformálási tevékenység egyik helyen ugyanazt az eredményt éri el más körülmények között. Valójában minél jobban megismerjük ökológiai és környezeti rendszereinket, annál távolabbinak tűnik az a vágyálom, hogy azokat saját igényeinknek megfelelően átalakítsuk (BODNÁR, 2024). A Mars jelenleg a terraformálók fő céltáblája, de a Mars természeti rendszerének még csak egy kis hányadát ismerjük, és még sok mindent kell megtudnunk, mielőtt egy terraformálási tervet készítenénk, ha egyáltalán lehet ilyet készíteni, és az végrehajtható.

Másodszor: a jelenlegi terraformálási technológiák vagy a jelenlegi technológiák erősen extrapolált változatai, vagy a jelenlegi technológiák jövőbeli fejlődésének feltételezésén alapuló tisztán spekulatív módszerek.

Harmadszor: A legtöbb becslés szerint a terraformálás időtartama sok évezredes időskálán történhet, az erőforrások biztosítása ilyen időtávon valószínűtlen, miközben az eredmény valószínűsége bizonytalan.

Végül: A tudomány és a technika általában emberközpontú célok elérésére használatos eszközök. Ebből a nézőpontból tekintve a terraformálás valahol a tudomány és a kultúra között foglal helyet, úgy középtájon a tudomány és a „kemény science fiction” között.

Irodalomjegyzék

- Anderson, P. (1964). To Build A World. *Galaxy Science Fiction* 22(6), 7–64.
- Belyaev, M. Y., Babkin, E. V., Ryabukha, S. B. & Ryazantsev (2011). Microperturbations on the International Space Station during physical exercises of the crew. *Cosmic Res* 49, 160–174. <https://doi.org/10.1134/S0010952511010011>
- Blish, J. (1957). *The Seedling Stars*. Signet Books New York.
- Bodnár, Zs. (2018). A Bioszféra 2 kudarca: hogy akarunk más bolygókon élni, ha még a Földön sem sikerül leutánozni a természetet? <https://qubit.hu/2018/05/16/a-bioszfera-2-kudarca-hogy-akarunk-mas-bolygokon-elni-ha-meg-a-foldon-sem-sikerul-leutanozni-a-termeszetet>
- Cornelius, K. (2021). Biosphere – 2: The Once Infamous Live-In Terrarium Is Transforming Climate Research *Scientific American*, October, 4. <https://www.scientificamerican.com/article/biosphere-2-the-once-infamous-live-in-terrarium-is-transforming-climate-research/>
- Jones, H. W. (2021). The Partial Gravity of the Moon and Mars Appears Insufficient to Maintain Human Health. 50th International Conference on Environmental Systems. ICES-2021-142. <https://ntrs.nasa.gov/citations/ICES-2021-142>.
- Kiss, L. L. (2024). Keressük a Föld égi mását. *Fizikai Szemle*. 74(7-8), 226–232.
- Landis, G. A. (2012). Terraforming Venus: A Challenging Project for Future Colonization. AiAA Space 2011 Conference & Exposition 27. Long Beach, California. <https://doi.org/10.2514/6.2011-7215>
- Lovelock, J. (1990). *Gaia. A földi élet egy új nézőpontból*. Göncöl Kiadó, Budapest.
- McKay, Ch. (1987). On Terraforming Mars. *Extrapolation*, 23(4), 309–314. <https://doi.org/10.3828/extr.1982.23.4.309>

- Miller, W. M. (1953). Crucifixus Etiam. Astounding Science Fiction WordPress.com <https://doomsdayer.wordpress.com/2013/06/18/miller-walter-m-crucifixus-etiam-1953/>
- Nichols, M. R. (2017). If we successfully land on Mars, could we live there? In: Martian homes and gardens. Astronomy. <https://www.astronomy.com/space-exploration/if-we-successfully-land-on-mars-could-we-live-there/> . *Megtekintve: 2025. december 22.*
- O'Neill, Gerard K. (1977). *The high frontier: human colonies in space.* William Morrow & Company. New York.
- Potocnik, H. (1929). The Problem of space travel. The rocket motor. *Berlin: Richard Carl Schmidt & Co.*
- Ruden, D. M., Bolnick, A., Awonuga, A., Abdulhasan, M., Perez, G., Puscheck, E. E., & Rappolee, D. A. (2018). Effects of Gravity, Microgravity or Microgravity Simulation on Early Mammalian Development. *Stem cells and development*, 27(18), 1230–1236. <https://doi.org/10.1089/scd.2018.0024>
- Sagan, C. (1960). Physical Studies of Planets. PhD Dissertation. *University of Chicago.*
- Scharping, N. (2016). Are building the case to terraform Mars? In: Martian homes and gardens. Astronomy. <https://www.astronomy.com/science/these-experiments-are-building-the-case-to-terraform-mars/>. *Megtekintve: 2025. december 22.*
- Schmidt, P. A. (2010): „Terraforming: an investigation of the boundaries between science and hard science fiction.” PhD Dissertation, *University of Minnesota.*
- Warmflash, D. (2014). Forget Mars. Herw’s where we should build our first off-world colonies. In: Martian homes and gardens. Astronomy. <https://www.discovermagazine.com/forget-mars-heres-where-we-should-build-our-first-off-world-colonies-182>. *Megtekintve: 2025. december 22.*
- Williams, M. (2016). The Definitive Guide To Terraforming. *Planetary Science*, <https://www.universetoday.com/articles/guide-to-terraforming>. *Megtekintve: 2025. december 22.*

HÁGEN ANDRÁS

AZ EVOLÚCIÓ KAOTIKUS ELEMEI

*Déli ASZC Bereczki Máté Élelmiszeripari és Mezőgazdasági Technikum,
Szakközépiskola
hagena@freemail.hu*

Absztrakt

A Föld történetében 545millió évvel ezelőtt egy valóságos diverzitásrobbanás játszódott le. A kambriumi robbanás (545 millió éve) elnevezés a legtöbb ma ismert állatcsoport hirtelen megjelenésére utal.

Ez a 10 millió éven át tartó, nagy fajgazdagságot hozó időszak magyarázható a kaotikus evolúciós elmélettel, teljesülnek a káoszelmélet fő kritériumai, miszerint az új fajok váratlanul jelentek meg, és alapjában véve a folyamat sosem ismétlődött meg, ilyen robbanásszerű fajgazdagság-növekedés azóta sem volt. Előre nem jelezhető sejt differenciáció játszódott le, amely különösen érzékeny volt a kezdeti feltételekre (pl. kalcium jelenléte az óceánokban), ezzel a folyamat eleget tesz a második kritériumnak. A fajgazdagság változása aperiodikus volt, és fraktálszerkezetet formált. A kambriumi robbanás egy egyedülálló, azóta sem ismétlődő esemény volt a Föld történetében, hiszen semmi olyan előzménye nem volt, amely előre jelezte volna ennek a fajgazdagságnak a kialakulását.

Kulcsszavak: kambrium, evolúció, kaotikus dinamika, Ljapunov-exponens

ANDRÁS HÁGEN

THE CHAOTIC ELEMENTS OF EVOLUTION

*Déli ASZC Bereczki Máté Agricultural and Food Industry Technical School
hagena@freemail.hu*

Abstract

A veritable explosion of diversity occurred 545 million years ago in Earth's history. The name Cambrian explosion refers to the sudden appearance of most of the animal groups known today.

A period of species richness lasting 10 million years is consistent with chaotic evolution, as it meets the first major criterion of chaos theory, that it appeared unexpectedly and, fundamentally, never repeated itself.

According to the second criterion, unpredictable cell differentiation occurred, which was particularly sensitive to initial conditions (e.g., the presence of calcium in the oceans).

According to the third, species richness was aperiodic, meaning it formed a fractal structure.

Looking back we can say that the Cambrian explosion was novel in Earth's history, as nothing predicted the emergence of species richness.

Keywords: Cambrian, evolution, chaotic dynamics, Lyapunov exponent.

Bevezetés

A biológiában mára az evolúció ténye általánosan elfogadottá vált. Az élővilág fejlődését a legtöbben úgy tartják, hogy egy jövőbe mutató determinisztikus rendszer, pedig az élővilág változása nem egyértelműen leírható folyamat. A kezdő feltételek alapján egy nagyobb és fajgazdagabb rendszer kialakulására is lehetőség lett volna. DARWIN „A fajok eredete” (1859) című könyvében a szelekciót a fajok kialakulása szempontjából meghatározó, de nem kizárólagosan ható tényezőként említi. A későbbiekben Darwin elméletének több továbbfejlesztése is született először a neodarwinizmus (ROMANES, 1883), majd a szintetikus evolúciós elmélet (HUXLEY, 1942). Ezek az elméletek a rekombinációt, mutációt és arra épülő szelekciót tekintik a fajok kialakulásának egyedüli mozgatórugójának. Mai ismereteink alapján a pusztán véletlenszerű variációk és a szelekció mechanizmusa nem magyarázza meg teljes mértékben az evolúció összetettségét, nem ad magyarázatot se a fajkeletkezés változatos ütemére, se a környezeti hatások evolúciós következményeire, se egyes fajok gyors, mások lassú ütemű fejlődésére (NOBLE, 2010, BROWN & HULLENDER, 2022). Az evolúció kaotikus rendszerként történő értelmezése emiatt fontos, mert segítségével magyarázhatjuk ezeket a jelenségeket is. A kambriumban bekövetkezett hirtelen fajgazdagság-növekedés egy ilyen, csupán a természetes szelekcióval nem magyarázható földtörténeti esemény volt.

A Föld történetében 545 millió évvel ezelőtt egy valóságos diverzitásrobbanás játszódott le. A kambriumi robbanás elnevezés a legtöbb ma ismert állatcsoport hirtelen megjelenésére utal. Bár akkor még nem élt annyi állatfaj, mint a mai tengerekben, az előgerinchúrosok (*Urochordata*) képviselői jelen voltak a kambriumi óceánokban (SEPKOSKI, 1993; SHU, 2008; TRESTMAN 2013). A kriogén végén keletkezett fedő karbonátréteg a proterozoikum utolsó emeletét s egyben az ediacara korszak (635–542 millió év) kezdetét jelzi. Az Ediacara-dombság Ausztráliában van, itt található a korszakra jellemző több mint 30 lelőhely közül a névadó. A fossziliák **többsége 560 millió évesnél fiatalabb** (SEPKOSKI, 1993; TRESTMAN, 2013).

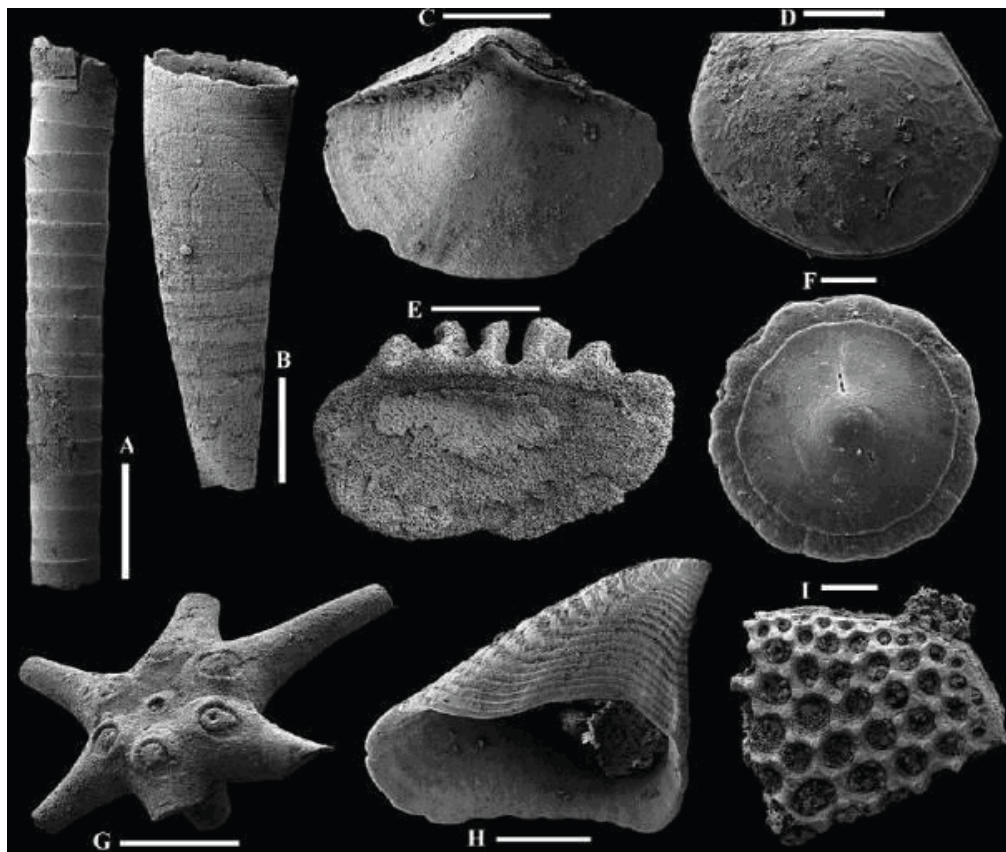
Hogy mi okozta és mi hajtotta a robbanásszerű diverzitásnövekedést, a merev csontvázak kialakulását, a merev testrészek megjelenését, az ízületek és a szemek kialakulását, azt nem tudjuk (SEPKOSKI, 1993; TRESTMAN, 2013). A Darwin-féle evolúciós elméletet követve azt láthatjuk, hogy az evolúció lassan és állandó sebességgel zajlik (ELDRIDGE & GOULD, 1972). Elképzelését felfordított kúpokkal ábrázolhatnánk, ami azt jelöli, hogy a morfológiai változatosság folyamatosan növekedik az idő előre haladásával.

A kambriumi robbanás szereplőit és a későbbi fosszilis maradványokat vizsgálva azonban kiderült, hogy a földtörténet során nem jelentek meg folyamatosan újabb és újabb morfológiai elemek. Ezt tehát nem egy kúpszerű, folyamatosan növekvő grafikkal

szemléltethetjük, hanem inkább egy téglalappal, amelynek már alapjánál megjelennek a morfológiai újítások, és azután nagyjából állandó marad az élővilág morfológiai kincseitára. Számos állatcsoport korai evolúciója jellemezhető erősen felgyorsult fejlődési szakaszokkal.

A következőkben megpróbáljuk matematikai formába önteni a kambriumi robbanást. Az ediacara bióta (~vendobióta) tagjai különböző méretű (1 cm–1,5 m), váz nélküli, lágyszárú élőlények voltak, melyek Ediacara Hillsben kvarcitban, kvarchomokkőben – Avalónia, Anglia ediacara fossziliái agyagpalában – őrződtek meg, és mind az öt kontinensen elterjedtek. A legidősebb, 600-580 millió éves leletek a kínai Doushantuo formációból kerültek elő: a Vernanimalcula *guizhouena* bilateria állatfosszília, embriófossziliák, óriás baktériumok, szivacsok. (A fossziliák egy része talán szervesetlen képződmény.)

Az Ediacara típusú megafossziliák után a korszak végén, 550 millió éve feltűnt egy eltérő fauna, mely az első leletegyüttesek alapján a kis kagylós fossziliák nevet (SSF: Small shelly fossils) kapta (1. ábra).



1. ábra. Kis kagylós fossziliák (Forrás: <https://tamop412a.ttk.pte.hu/files/biologia5/Evolucio/chunks/ch14s04.html>)

Egyik jelentőségét az adja, hogy felfedezhetők benne a kambriumi robbanásakor diverzifikálódott állatcsoportok ősi, kis méretű tagjainak vázmaradványai, amelyek legtöbbször mindössze milliméteres nagyságúak. Nagyon fontos momentum a biomineralizáció megjelenése a kalcium-karbonát szerkezetbe való beépítésével, s ennek következtében a szilárd váz kialakulása (LÖWENSTAM & MARGULIS, 1980). A szilárd váznak számos előnye van: védelem, támaszték, aljzathoz való tapadás, izomtapadási felületek, a táplálék tartása. Ugyan a szilárd váz már megjelent az Ediacara faunában is, *Namacalathus* néven fut a namíbiai együttesben, de csak a SSF-faunában válik elterjedté (ZHURAVLEV ÉS MTSAI., 2015)

A kemény állati testrészek, mint például a csigák és kagylók, valamint más puhatestűek kalcium-karbonát héja valószínűleg hulladékként keletkeztek először (MARGULIS, 2000). A tengervízben jelen lévő kalciumionok a sejten belül mérgezőek, így a sejteken belüli kalciumkoncentrációt a tengervíznél ezerszer alacsonyabb szinten kell tartani, különben a mitózisok mikrotubulusai szétesnek, és sejtpusztuláshoz vezető folyamatok indulnak be. A kalcium kipréselése mint salakanyag-eltávolítás kezdődött, majd ez a folyamat alakult át szilárd váz építésévé, majd később a fogak, páncéllemezek és a csontok kifejlődésévé (SEPKOSKI, 1993).

Összességében a kambriumban a törzsfejlődési diverzifikáció és komplexitásnövekedés gyors volt, amelyben nagyrészt felismerhető a filogenetikai rokonság a ma élő állatokkal (TRESTMAN, 2013).

A felsoroltakon kívül a kambriumi robbanás során további biológiai változások is történtek az élőlények között, többek között a testméret növekedése, a ma élő rokonokhoz hasonló testformák kialakulása.

A kambriumi robbanás magyarázata

Számos alternatív magyarázat létezik az élővilág nagyarányú megváltozására a kambriumban. A következőkben vizsgáljuk meg a hipotéziseket. Az első csoportba azok az elméletek tartoznak, amelyek a környezeti hatásokkal magyarázzák a kambriumi evolúciós eseményeket.

A prekambriumban a levegőben és a vízben rendelkezésre álló oxigén szintje jelentősen megnőtt (FIKE ÉS MTSAI., 2006). A magasabb oxigénszint az állatok testének növekedését, az anyagcsere-, a fejlődési, és a viselkedési folyamataik energetikailag hatékonyabbá válását tette lehetővé (TRESTMAN, 2013).

KIRSCHVINK (1992) szerint a kriogén során bekövetkezett „hóglyó-Föld” jégkorszak döntő szerepet játszott az élővilág fejlődésében.

Másokgenetikai alapon magyarázzák az eseményeket. Ezekben az elméletekben kulcsfontosságú szerepet kapnak a nem kódoló mikro-RNS-ek. Ezek a mikro-RNS-ek szabályozzák a hírvivő RNS translációját, amelyek valójában fehérjéket kódolnak. A hírvivő RNS-ek minden élőlényben megtalálhatóak, azonban ERWIN és munkatársai (2011) szerint a mikro-RNS komplexitásának növekedése és csökkenése korrelál a morfológiai komplexitás növekedésével és csökkenésével is.

Ebben a folyamatban a genetikai szabályozás a fontos, hiszen a morfológiai komplexitást ez hozta létre, valamint korlátozta a morfológiai fejlődés további változását. Így a fejlődés jellemzői rögzültek (WIMSATT, 1986). Az alapvető fejlődési módok, szervek kialakultak, és stabilan fejlődtek tovább.

A genetikai magyarázat mellett létrejöttek ökológiai magyarázatok is. A prekambrium végén a legtöbb állat bentosz életformát folytatott, és filtrációval táplálkozott (COLLINS & VALENTINE, 2001; ERWIN ÉS MTSAI., 2011). A kambrium elején azonban elhagyták az óceánfenéket, és plankton formában éltek tovább, ezzel gazdagabb táplálékforrást biztosítottak (BUTTERFIELD, 1997). A szárazföldről az óceánba kerülő törmelék a szűrővel rendelkező szivacsok számára elegendő táplálékot szolgáltatott, nem véletlenül szaporodtak el az edicarianus korszak végén (ERWIN ÉS MTSAI., 2011). A „hógolyó-Föld” felolvadása szintén hozzájárult a több törmelék vízfolyásokba kerüléséhez.

Egy másik elképzelés szerint elszabadult fegyverkezési verseny indult el a ragadozók és a zsákmányuk között, így sokkal kifinomultabb fogó és pusztító eszközök fejlődtek ki, és persze jobb védekezési eszközök is (CONWAY MORRIS, 2000).

PARKER (2004) elméletében határozottan amellel érvel, hogy a kambriumi robbanás beindulásához kulcsfontosságú volt a kópalkotó szemek kialakulása. A szemekkel olyan vizuális mechanizmusok is kialakultak, amely megkönnyítették a ragadozó észrevételét vagy a ragadozók elkerülését a zsákmányállatok számára. Emellett a szexuális szelekció folyamatában is fontosak lehetnek a szemek (PARKER, 2004). RITCHIE (2007) szerint a szexuális szelekció a fajképződés egyik erőteljes mozgatórugója lehetett.

A látás megjelenése mellett az asszociatív tanulás és a neurohormonális stresszválasz is hatással lehetett a fejlődésre. GINSBURG ÉS JABLONKA (2010) szerint az asszociatív tanulás fokozza az alkalmazkodóképességet, és lehetővé teszi új erőforrások kiaknázását. Egy-egy populációban az állatok következetesen megtanultak valamilyen új viselkedési formát, amivel növekedett az esélyük a túlélésre és a nagy szaporulat elérésére. A tanulás a környezethez történő gyorsabb alkalmazkodást teszi lehetővé, amely ha bevált viselkedési mintát alakít ki, akkor a későbbiekben „veleszületett” vagy „ösztönös” genetikailag kódolt tulajdonság lesz (BALDWIN, 1986; BATESON, 2005; WADDINGTON, 1957; WEST-EBERHARD, 2003).

GINSBURG ÉS JABLONKA (2010) azzal érvelnek, hogy az oxigénszint növekedésével nőtt az élőlények testmérete és aktivitási szintje, amely az idegrendszer centralizálásával járt együtt, így létrehozva az érzékszervi bemenetek integrációját és a motoros kimenetek koordinációját a test különböző régiói között. GINSBURG ÉS JABLONKA (2010) szintén hangsúlyozzák a neurohormonális stresszválaszt. A stresszes helyzetek elősegítik az asszociatív tanulást és a hosszú távú memória kialakulását.

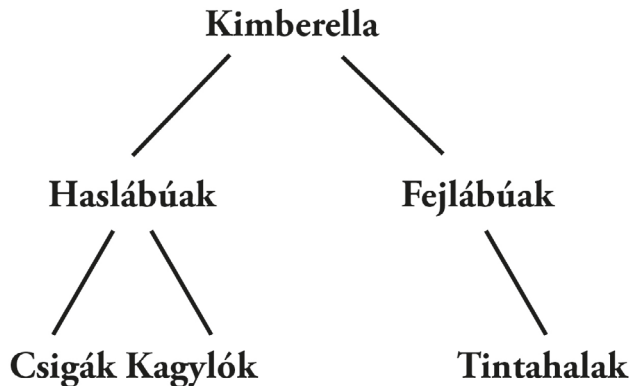
Fajgazdagság és a fagráf

A gráfelméletben azt nevezzük fagráfnak, amelynek bármelyik két csúcsát pontosan egy út köti össze, azaz a fák körmentes összefüggő gráfok. Az ediacarai faunában megjelent élőlényekből egy tökéletes fagráftól lehet alkotni, hiszen a távoli jövőben belőlük fejlődnek ki a napjainkban élő állatok – és az emberek (*Homo sapiens*) – ősei.

Az ediacara fauna az archaikum végéről, az ediacara időszakból származó, a világ több pontjáról előkerült fossziliák által ismert élőlénytársulások összessége. Ezek a legrégebbi életközösségek, melyekből többsejtű állatok ismertek. A legtöbb faj csalánozóyszerű forma, toll, diszkosz, fekvő toll, korong alakú lények és üregkitöltések ismertek. Valószínűleg a *Kimberella* egy ősi, váz nélküli puhatestű lehetett (SEPKOSI, 1993).

A kambriumtól származó lerakódásokban megjelennek a puhatestűek valamennyi ismert osztályának képviselői: kagylók, csigák (haslábúak), tintahalak (fejlábúak vagy lábasfejűek). Utóbbiaknak külső héjuk volt.

Az ediacarai faunában megjelenő *Kimberella* fajból felépíthető a puhatestűek osztálya fagráf segítségével.



2. ábra. A *Kimberella* faj fagráfja

A Kimberellán kívül további fajokkal kapcsolatosan is megalkothatjuk a fagrafunkat, például a gerincesek elődjének számító parányi Pikaia *gracilis*ból (SEPKOSI, 1993).

A következőkben vizsgáljuk meg, hogy a kambriumi élővilág-robbanással kapcsolatosan azonosítani tudjuk-e a kaotikus evolúciós mechanikát.

A kaotikus dinamikájú mechanizmus

Edward Lorenz egyszerű meteorológiai modellen dolgozott. Három szabad változója volt, amelyek időbeli változását egy közös differenciálegyenlet határozta meg. A modellt számítógépes szimulációkkal tanulmányozta. A program elején kezdeti értékeket adott a változóknak. Többször is lefuttatta a programot, és meglepve tapasztalta, hogy minden esetben más és más eredményt kapott. Az eredmények láthatóan minden szabályszerűség nélkül változtak. Végül rájött, hogy csak négy tizedesjegy pontossággal adta meg az értékeket, így a gép maradék négy helyi értékre véletlenszerűen írta be a számokat. Az eltérés csekély volt (10^{-5}) az állapotok között, mégis egyre nagyobb és nagyobb különbségek keletkeztek. Ez az ún. pillangóeffektus: a kezdetben kicsi értékkülönbségek óriási eltéréseket okoztak rövid időn belül (SCHEURING, 1998; 2002). Lorenz kísérlete egy véletlenszerű kaotikus viselkedésű rendszert mutat.

A kaotikus viselkedés az egyszerű, kevés változóval leírható nemlineáris rendszerek mozgása és időbeli viselkedése. A három fő tulajdonsága közül az első, hogy időben szabálytalan, soha nem ismétli önmagát, és semmilyen időtávon nem periodikus. Másodsorban hosszú távon előrejelezhetetlen, és érzékeny a kezdeti feltételekre. A harmadik fő tulajdonsága pedig, hogy ábrázolásban rendezett, fraktálszerkezet társul hozzá (STOGATZ, 1994; WEISENFELD & MOSS, 1995; TÉL & GRIUZ, 2002; 2006; GRIUZ, 2013).

Az említett tulajdonságok általában egyszerre vannak jelen, vagyis ha egy egyszerű biológiai vagy fizikai rendszer hosszú távon aperiodikus, akkor időbeli fejlődése megjósolhatatlan és egyben fraktálszerű. A hagyományos szemlélet oldaláról nézve mindhárom tulajdonság újszerű és meglepő (GRIUZ, 2013).

Egy közös vonás van a három tulajdonságban, az, hogy a hosszú idejű viselkedés véletlenszerű, s ezért csak valószínűségi fogalmakkal írható le. Ez a viselkedés nemcsak fizikai és kémiai rendszerekben figyelhető meg, hanem a biológiai rendszerekben is, például a biokémiai folyamatokban (enzimreakció, idegrendszer, szív stb.) és a populációkban is (HASSEL ÉS MTSAL., 1976; GOLDBERGER ÉS MTSAL., 1990; SCHEURING & JÁNOSI, 1996; SCHEURING, 1998; 2002).

A szabályos biológiai rendszerektől az különbözteti meg, hogy véletlenszerűsége a kevés összetevő elem erős kölcsönhatásából, a belső dinamikából adódik. A kalcium-karbonát

hégjak kifejlődése és elterjedése a kambriumi robbanás során véges ideig tart, az ilyen típusú dinamikát tranziens káosznak nevezzük.

A kaotikus mozgások egyik legfontosabb tulajdonsága a közeli mozgáspályák idő függvényében való nagyon gyors (exponenciális) távolodása. Biológiába átültetve a kaotikus evolúciós dinamika, a rendszertanilag közeli fajok nagyon gyors szétválása, lehetőleg belső fejlődésük miatt.

Helyileg és átlagosan is mérhető a távolodás gyorsasága, a mérésből kapott függvény exponensét (λ) Ljapunov-exponensnek nevezzük:

$$d(t) = d_0 e^{\lambda t}, \quad (1)$$

ahol t az idő, d_0 és $d(t)$ az evolúciós dinamika kezdeti és pillanatnyi távolsága (TÉL, T. és MTSAI., 2002).

A kezdeti kis hibák is exponenciális gyorsasággal terebélyesednek ki, amelyek következménye a káoszra jellemző előrejelezhetőség. Minél nagyobb a λ , annál erősebb a káosz, amikor pedig egyenlő vagy kisebb, mint 0, akkor nincs távolodás, és a mozgás sem kaotikus. A kaotikus mozgás ún. előrejelzési ideje a Ljapunov-exponens reciprokjaként, vagyis $1/\lambda$ -ként becsülhető.

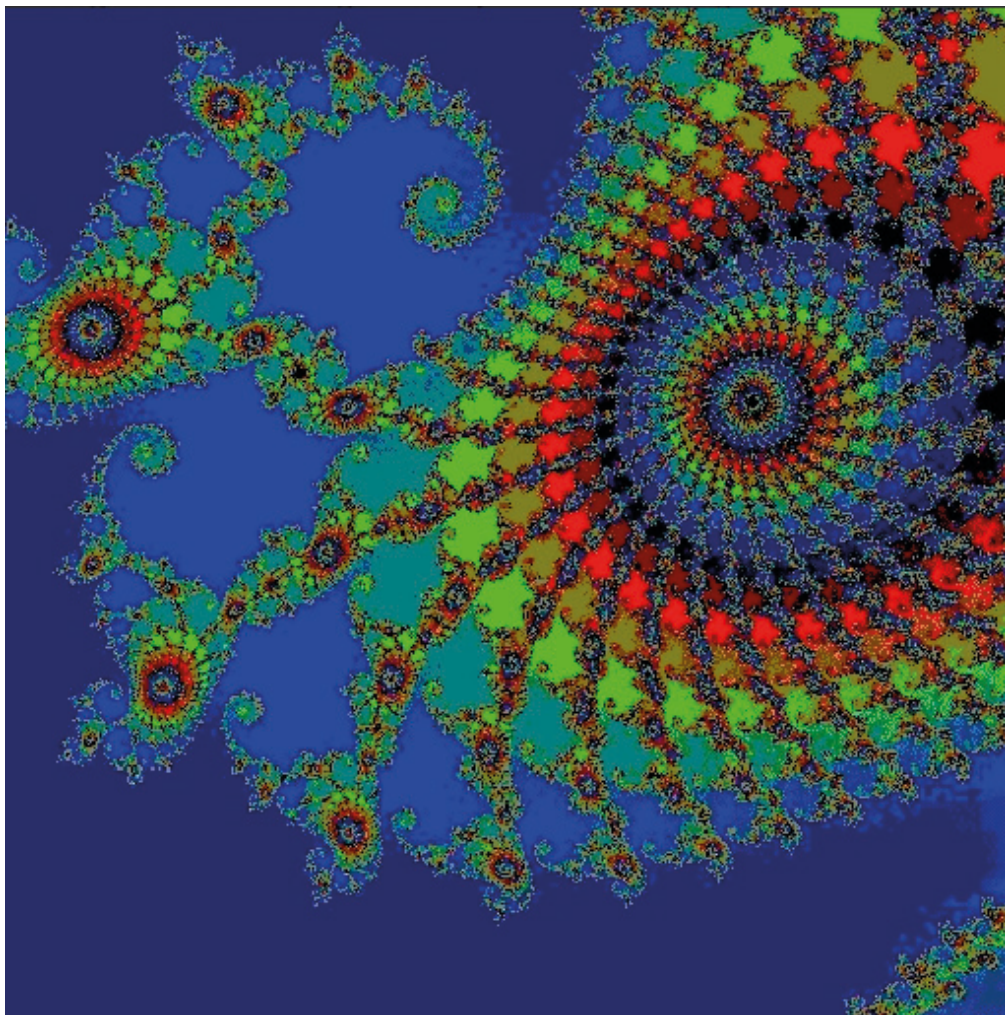
A másik fontos, immár kimondottan a tranziens káosznál mérhető mennyiség a szökési ráta. A sejtek véletlenszerűen hagyják el a halmaz környékét. Ha N_0 különböző pályát egyszerre indítottuk, s figyeljük a bent maradók $N(t)$ számát az idő függvényében, akkor az exponenciálisan fog csökkenni:

$$N(t) = N_0 e^{-\kappa t}, \quad (2)$$

Itt is mérhető tehát egy exponens, amely nevében is hordozza a jelenség lényegét: szökési rátának hívják, és κ -val jelöljük. A káosz átlagos élettartalma, amelyet τ -val szokás jelölni, a szökési ráta reciprokaként becsülhető: $\tau \sim 1/\kappa$ (TÉL, T. és MTSAI., 2006). A káosz átlagos élettartalma ($\tau \sim 1/\kappa$) 0,0000001 volt.

A biológiában a kaotikus viselkedésen kívül megfigyelhetőek további fizikai folyamatok is, különösen részecskék szintjén. Ilyen a Brown-féle mozgás is, amikor egy részecske minden egyes lépése véletlenszerű, nem tervszerű a mozgása. Ilyen a fehérjék diffúziója vagy a sejtekben zajló molekuláris transzportfolyamatok.

Az evolúciós fejlődést (természetesen a prekambriumban), ahol megáll (egy faj esetében, amelyik nem fejlődik tovább), attraktornak nevezzük. A 3. ábrán látható az evolúciós fejlődést bemutató fraktál, ahol kettő attraktor jól kivehető:



3. ábra. Az élővilág fejlődésének szerkezetét szimbolizáló fraktálszerkezet, a Mandelbrot-halmaz. A kezdeti élőlényekből további fajok alakulnak ki (Forrás: Pernecky 1992).

Az élővilág diverzitását két attraktorral mutatom meg. A 3. ábra központi részén elhelyezkedő attraktor jelzi az élővilág egyetlen közös őseit, amely évmilliárdok alatt tovább, komplexebb élőlényekké fejlődik. Matematikai nyelven mondva a két attraktorhoz egy-egy szintet rendelve szimulálással könnyen kiszínezhető az egész sík: egy adott pont színe jelzi, hogy az evolúciós dinamika melyik színű attraktorban fog megállni.

Az azonos színű területek az úgynevezett vonzási tartományok, amelyek mutatják az adott attraktorhoz vezető kezdeti helyek összességét. Az attraktorok vonzási határa első ránézésre fraktálszerkezetű.

A vonzási tartományok vizsgálatánál bármilyen kis területet is nagyítunk ki, a szinthatár közelében mindig a színek keveredését fogjuk látni.

Következtetés

Aki figyelemmel olvasta a cikket, annak feltűnt, hogy a 10 millió éven át tartó fajgazdagságot hozó időszak megfelel a kaotikus evolúció kritériumainak (az utóbbi évek kutatásai rávilágítottak, hogy több tíz millió évig tartott a kambriumi robbanás). A kaotikus mozgások első fő tulajdonságának amiatt felel meg, hogy időben váratlanul jelentek meg az új fajok, hiszen közel 3 milliárd éven keresztül alig változott az élővilág. A kambriumi robbanás sosem ismételte meg önmagát, hiszen ekkor hirtelenjében fajgazdag élővilág népesítette be a Föld vizeit (TRESTMAN, 2013).

Másodsorban hosszú távon előrejelezhetetlen volt (öslénytani adatok alapján nem előrejelezhető) az új sejtdifferenciálódás kialakulása. A kezdeti feltételekre érzékenyen reagált az élővilág, hiszen a tengerek magas kalciumtartalma miatt először a kiválasztó szerveknek köszönhetően hulladékként megszabadult a kalciumtól az élőlény, később azonban szilárd vázat épít magának a víz magas oldottkalcium-tartalmát felhasználva (SEPKOSKI, 1993). Összességében a genetikai változások előrejelezhetetlenek voltak. Ugyanakkor jegyezzük meg, hogy a Brown-féle mozgás is szerepet játszhatott ebben a fejlődésében, hiszen tudjuk, hogy az olyan transzportfolyamatokat irányít, amelyek esetleg a primitív kambrium kori organizmusokban is kialakultak már.

A harmadik kritériumnak abban felel meg, hogy a fajgazdagság kialakulása aperiodikus volt, fraktálszerkezetű dinamikát mutatott, mint ahogy azt a 2. ábra is mutatja.

Mindent összevetve elmondható, hogy a kambriumi robbanás újszerű volt az élővilág fejlődésében, és meglepő is volt egyben, hiszen semmi sem indokolta ennek a fajgazdagságnak a kialakulását.

A kaotikus mechanizmus definíció szerint nem tart sokáig, ebben az esetben is elmondhatjuk ugyanezt, annak ellenére, hogy 10 millió évig tartott (530-520 millió év), hiszen a 10 millió elhanyagolható a Föld történetében, hiszen előtte közel 2,5 milliárd éven át nem történt semmi lényeges dolog az élővilág fejlődésében. Az újabb kutatások szerint a fejlődés több tíz millió éven át történt (KNOLL & CARROLL 1999; ERWIN ÉS MTSAI, 2011).

Irodalomjegyzék

- Baldwin, J. M. (1896). A new factor in evolution. *The American Naturalist*, 30(355), 536–553. <https://doi.org/10.1086/276428>
- Bateson P. (2005). The return of the whole organism. *Journal of biosciences*, 30(1), 31–39. <https://doi.org/10.1007/BF02705148>
- Brown, O. R., & Hullender, D. A. (2022). Neo-Darwinism must Mutate to survive. *Progress in biophysics and molecular biology*, 172, 24–38. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2022.04.005>
- Butterfield, N. J. (1997). Plankton ecology and the Proterozoic-Phanerozoic transition. *Paleobiology*, 23(2), 247–262. <https://doi.org/10.1017/S009483730001681X>
- Collins, A. G., & Valentine, J. W. (2001). Defining phyla: evolutionary pathways to metazoan body plans. *Evolution & development*, 3(6), 432–442. <https://doi.org/10.1046/j.1525-142X.2001.01048.x>
- Conway Morris S. (2000). The Cambrian „explosion”: slow-fuse or megatonnage?. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(9), 4426–4429. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.9.4426>
- Darwin C. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London: John Murray; 1859. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.68064>
- Eldredge, N., & Gould, S. J. (1972). Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. *Models in paleobiology*, 82, 115. <https://doi.org/10.5531/sd.paleo.7>
- Erwin, D. H., Laflamme, M., Tweedt, S. M., Sperling, E. A., Pisani, D., & Peterson, K. J. (2011). The Cambrian conundrum: early divergence and later ecological success in the early history of animals. *Science (New York, N.Y.)*, 334(6059), 1091–1097. <https://doi.org/10.1126/science.1206375>
- Fike, D. A., Grotzinger, J. P., Pratt, L. M., & Summons, R. E. (2006). Oxidation of the Ediacaran ocean. *Nature*, 444(7120), 744–747. <https://doi.org/10.1038/nature05345>
- Hassell, M. P., Lawton, J. H., & May, R. M. (1976). Patterns of dynamical behaviour in single-species populations. *The Journal of Animal Ecology*, 45(2), 471–486. <https://doi.org/10.2307/3886>
- Huxley, J. (1942). *Evolution, the modern synthesis*. George Allan and Unwin Ltd. London.
- Goldberger, A. L., Rigney, D. R. & West, B. C. (1990). Káosz és fraktálok az emberi szervezetben. *Tudomány*, 6, 28–36.
- Gruiz, M. (2013) Káosz mint komplexitás. *Természet Világa* 144. (II. különszám), 8–14.

- Kirschvink, J. L. (1992). Late Proterozoic low-latitude global glaciation: the snowball Earth. In: *Schopf J. W., Klein C. (eds.) The Proterozoic biosphere: a multidisciplinary study*. Cambridge University Press, Cambridge, 51–58.
- Knoll, A. H., & Carroll, S. B. (1999). Early animal evolution: emerging views from comparative biology and geology. *Science (New York, N.Y.)*, 284(5423), 2129–2137. <https://doi.org/10.1126/science.284.5423.2129>
- Lowenstam, H. A., & Margulis, L. (1980). Evolutionary prerequisites for early Phanerozoic calcareous skeletons. *Bio Systems*, 12(1-2), 27–41. [https://doi.org/10.1016/0303-2647\(80\)90036-2](https://doi.org/10.1016/0303-2647(80)90036-2)
- Marshall, C. R. (2006). Explaining the Cambrian “explosion” of animals. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 34(1), 355–384. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.33.031504.103001>
- Niklas, K. J. (1997). Effects of hypothetical developmental barriers and abrupt environmental changes on adaptive walks in a computer-generated domain for early vascular land plants. *Paleobiology*, 23(1), 63–76. <https://doi.org/10.1017/S009483730001664X>
- Noble D. (2011). Neo-Darwinism, the modern synthesis and selfish genes: are they of use in physiology?. *The Journal of physiology*, 589(Pt 5), 1007–1015. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.201384>
- Parker, A. (2004). In the blink of an eye: how vision sparked the big bang of evolution. Basic Books, New York.
- Perneckzy, G. (1992). Mire jó a fraktálfilozófia? Avagy tallózás az „új lelkesültség” nemzetközi szakirodalmában. – *Penticulus Hungaricus*, 8(3), 1059. <https://www.penticulus.hu/rovatok/hidverok/perneckzy-01.html#gsc.tab=0>
- Ritchie, M. G. (2007). Sexual selection and speciation. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 38(1), 79–102. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095733>
- Romanes G. J. (1883). Letter to the Editor. *Nature*. 27, 528–529 <https://doi.org/10.1038/027528a0>
- Scheuring I. (1998). Kaotikus jelenségek a biológiában. *Természet Világa*, 129(8), 338–342.
- Scheuring I. (2002). Káosz az életközösségekben. Nemlineáris jelenségek kompetitív rendszerekben és táplálékhálózatokban. *Természet Világa*, 133, 8, <https://www.termvil.hu/archiv/tv2002/tv0208/scheuring.html>
- Scheuring, I. & Jánosi I. M. (1996) Az eltűnő káosz nyomában: Miért nem kaotikusak a valóságos ökológiai rendszerek? *Fizikai Szemle. Biológiai Fizika Különszám*. 2(7), 235–241.
- Sepkosi, J. J. (1993) Alapok: Élet az óceánokban. In: *Gould, S. J. (szerk.) Az élet könyve*. Officina Nova, Budapest. 37–64.
- Shu, D. (2008). Cambrian explosion: Birth of tree of animals. *Gondwana Research*, 14(1-2), 219–240. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2007.08.004>

- Tél, T. & Gruiz, M. (2002) Kaotikus dinamika. Bevezetés a kaotikus dinamika világába a klasszikus mechanika jelenségén keresztül. – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Tél T. & Gruiz M. (2006) Chaotic dynamics, An introduction Based on Classical Mechanics. Cambridge University Press. UK. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511803277>
- Trestman, M. (2013). The Cambrian explosion and the origins of embodied cognition. *Biological Theory*, 8(1), 80–92. <https://doi.org/10.1007/s13752-013-0102-6>
- Waddington, C. H. (1957). The strategy of the genes. George Allen & Unwin, London.
- West-Eberhard, M. J. (2003) Developmental plasticity and evolution. Oxford University Press, Oxford. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195122343.003.0008>
- Wiesenfeld, K., & Moss, F. (1995). Stochastic resonance and the benefits of noise: from ice ages to crayfish and SQUIDS. *Nature*, 373(6509), 33–36. <https://doi.org/10.1038/373033a0>
- Wimsatt, W. C. (1986) Developmental constraints, generative entrenchment, and the innately-acquired distinction. In: *Bechtel W (ed): Science and philosophy: integrating scientific disciplines*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, 185–208. https://doi.org/10.1007/978-94-010-9435-1_11
- Zhuravlev, A. Y., Wood, R. A., & Penny, A. M. (2015). Ediacaran skeletal metazoan interpreted as a lophophorate. *Proceedings. Biological sciences*, 282(1818), 20151860. <https://tamop412a.ttk.pte.hu/files/biologia5/Evolucio/chunks/ch14s04.html>
<https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1860>

HÍREK, ESEMÉNYEK

Beszámolók egyetemi rendezvényekről, tanulmányutakról, terepgyakorlatokról

2025

JUBILEUMI TUDOMÁNY ÜNNEP
200 ÉV A TUDÁS ÉS A TÁRSADALOM SZOLGÁLATÁBAN

**A Biológiai Intézet és az MTA Miskolci
Területi Bizottság közös programja**

Időpont: 2025.november 19. 9:00-15:30
Helyszín: EKKE, Leányka utca 12. D épület, 117

**2025.
november
19.**



www.uni-esztehaszy.hu/mtu2025

*200 perc a biológiai tudományok aktuális kérdéseiről oktatóink és
kutatóink tolmácsolásában.*

*Biológus Workshop
Hallgatóink kutatási témáinak bemutatása*



JUBILEUMI
TUDOMÁNYÜNNEP
2025

MTA 200 ÉVES
A MAGYAR
TUDOMÁNYOS
AKADÉMIA



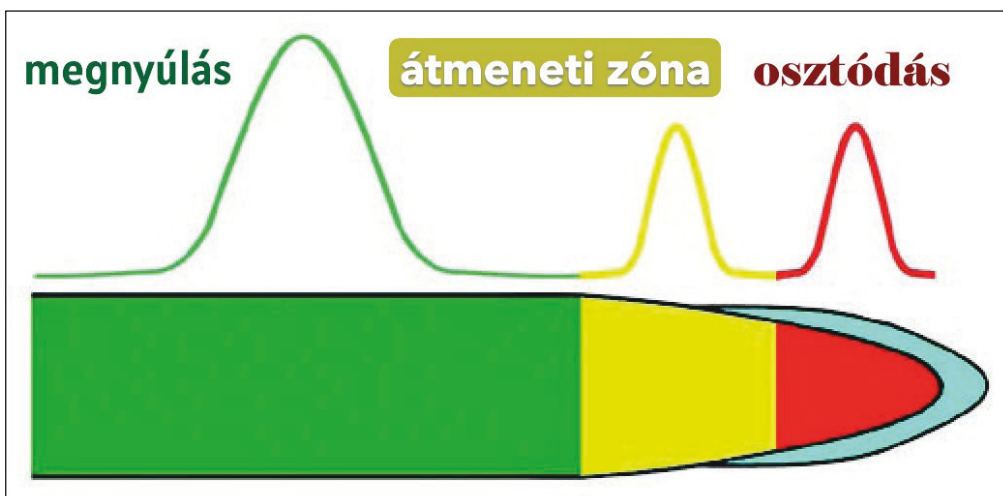
EGER 1774
ESZTERIÁZSY KÁROLY KATOLIKUS EGYETEM

PÉNZESNÉ KÓNYA ERIKA

DARWIN „GYÖKÉR-AGY” ELMÉLETE

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, TTK, Növénytani és Növényélettani Tanszék

Napjaink kutatásai egyre érzékenyebb eszközökkel történnek, ami arra is lehetőséget ad, hogy visszanyúljunk néhány érdekes elmélethez, és újragondoljuk azokat. Így van ez Darwinnak és fiának, Francis Darwinnak az 1888-ban „The power of movements in plants” címmel megjelent könyvével is, melyet az utóbbi években többször elővettek a növények életével, életfolyamataik szabályozottságával foglalkozó külföldi kutatók. A régi hipotézis hajmeresztőnek tűnik ugyan, de módszertani és oktatási előnyeiről, szemléletformáló hatásáról már a saját oktatási programjaimban is meggyőződtem. Az előadás az elmélettel kapcsolatos új eredményekről és ezekről a tapasztalatokról szól.



A növényi gyökér részei

SZÜCS PÉTER¹, RÓZSA SÁNDOR², MARSCHALL MARIANNA¹

MOHAREGENERÁCIÓS VIZSGÁLATOK ÉSZAKKELET-MAGYARORSZÁGON (ELŐZETES EREDMÉNYEK)

¹*Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, TTK, Növénytani és Növényélettani Tanszék*

²*Aggteleki Nemzeti Park Igazgatósága*

Az Aggteleki Nemzeti Park illetékességi területén moharegenerációs vizsgálatokat indítottunk annak vizsgálata céljából, hogy a lecsupaszított sziklafelszíneken milyen időbeli és térbeli dinamikával képes regenerálódni a lokális mohavegetáció. Az 5 éve megkezdett kutatás keretében 100 ponton felállított kis kvadrátokat évente monitorozzuk, ennek kezdeti eredményeit ismertetjük az előadás keretében.



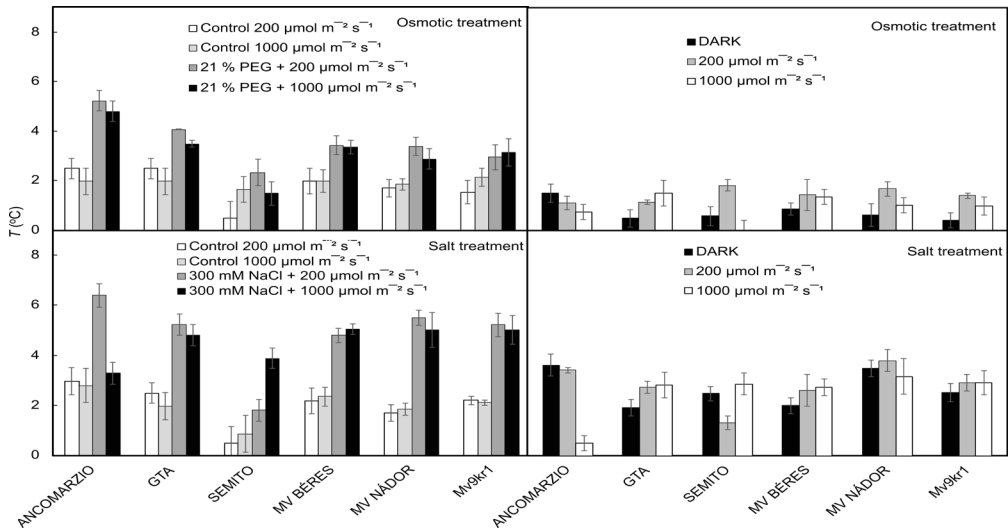
A Hypnum cupressiforme lombosmoha térbeli dinamikájának változása 4 év alatt andezit sziklán egy fonyi mintavételi ponton (fotók: Szűcs P.)

AMMAR ALLEM, TARNAI RÉKA, B. TÓTH SZABOLCS ÉS DULAI SÁNDOR

KÖZÉP-EURÓPÁBAN ÉS A MEDITERRÁN ÉSZAK-AFRIKÁBAN TERMESZTETT BÚZAFAJTÁK HŐMÉRSÉKLETI STABILITÁSÁNAK VÍZHIÁNYRA ÉS SÓSTRESSZRE ADOTT FOTOSZINTETIKUS VÁLASZAI

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, TTK, Növénytani és Növényélettani Tanszék

Különböző termőhelyekről származó búza és vonalak fotoszintetizáló apparátusának hőmérsékleti stabilitását vizsgáltuk vízhiány és sóstressz alatt sötét és fényadaptált helyzetben. Sötétadaptált helyzetben a vízhiánnyal párhuzamosan nem növekedett jelentősen a PS II hőmérsékleti toleranciája, mivel a kontroll- és kezelt növényeknél az F_0-T görbék T_c értékei nem mutattak szignifikáns különbséget. Ugyanakkor már a gyengébb (150 mM NaCl) sókezelés is jelentősen növelte a vonalak sötét hőmérsékleti stabilitását, amit a sókoncentráció emelése tovább fokozott. Fényadaptált helyzetben a növények fotoszintetizáló apparátusa már a kontrollnövények esetében is hőstabilabb volt, mint sötétben, amit mind a vízhiány, mind a sókezelés tovább serkentett. Eredményeink világosan mutatják, hogy hőstabilitás-növekedés a vízhiány és a sóstressz következménye, valamint hogy az említett stresszhatások kivédésének hátterében olyan folyamatok is szerepet játszanak, amelyek hátterében a lumensavanyodás másodlagos hatásai állnak. Ugyanakkor a sókoncentráció növelésének hatására bekövetkező erős hőmérsékletérzékenység-csökkenés bizonyos jellemzői nem magyarázhatók kizárólagosan a sóstressz ozmotikus hatásával, hanem az ionikus stressz következményeivel is számolnunk szükséges.



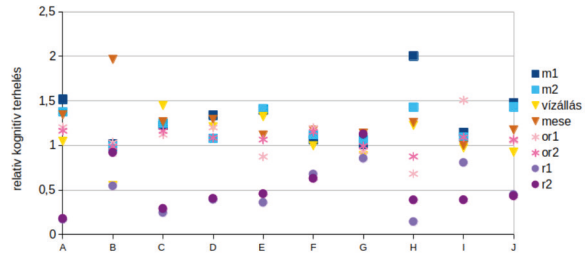
A vízhiány és a sóstressz hatása a kritikus (T_c) hőmérsékleti értékek alapján meghatározott hőmérséklet-érzékenység fenotípusos (T_{c1} – T_{c0} , jobbra) és „abszolút” fenotípusos (T_{c1} – T_{c0} dark, balra) plaszticitására

EMRI ZSUZSA

FIZIOLÓGIAI PARAMÉTEREK FELHASZNÁLÁSA AZ OKTATÁS MONITOROZÁSÁRA

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, TTK, Állattani Tanszék

A mentális állapot és a vegetatív homeosztázis jellemzésére számos fiziológiai paraméter felhasználható. Oktatási környezetben a pulzus, a légzésszám, a bőrellenállás és újabban az EEG-adatok használhatóak arra, hogy a diákok emocionális állapotára, kognitív terhelésére következtessenek. Mivel az EEG-jelek vannak legközvetlenebb kapcsolatban az agyi aktivitással, felhasználásuk az oktatási folyamat monitorozására ígéretesnek tűnik, bár az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy ez nem egyszerű, az EEG-jelekben tapasztalható nagyfokú egyéni variabilitás megnehezíti az értelmezést. Az adatelemzés megfelelő technikai felkészültséget és időt igényel. Ez a ráfordítás olyan dinamikus fejlődő területeken térülhet meg, ahol a gyors fejlődés miatt a pedagógiai módszerek és metodikák csak akkor tudnak lépést tartani a technológiai fejlődéssel, ha fejlesztésükhöz az eddiginél hatékonyabb adatfelvételi és adatelemzési technológiákat alkalmazunk. Ilyen területek a digitális eszközök és módszerek, a mesterséges intelligencia oktatásba történő integrálása, a hibrid oktatás, illetve az inkluzív oktatást segítő módszerek és technológiák alkalmazása. Az EEG oktatástechnológiai alkalmazását jelenleg behatárolja az a tény, hogy csak néhány kognitív jellemzőnél rendelkezünk elegendő adattal a megbízható következtetések levonásához. Jelenleg az éberséget, a vizuális észlelés mértékét detektálhatjuk EEG-vel, illetve az EEG hullámtartományainak változásából következtethetünk a stressz, szorongás vagy a kognitív terhelés mértékére. A felhasználhatóság kiterjesztéséhez nagyobb mintaszámra van szükség, és további mérésekre kontrollált laboratóriumi és realiztikus oktatási környezetben is.



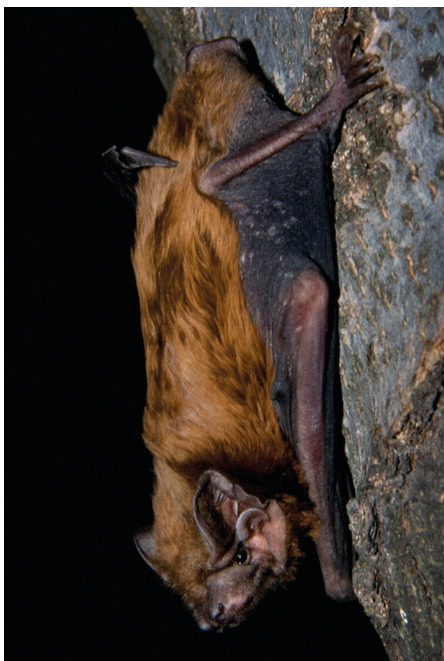
Kognitív terhelés értékei online feladatsor alatt. Az EEG-aktivitásból számolt kognitív aktivitási értékek személyenként (A-J) fejszámolási (m1, m2), szóveges (vizállás, mese) és relaxációs (or1, or2, r1, r2) feladatok alatt.

ESTÓK PÉTER

AZ ÉSZAKI-KÖZÉPHEGYSÉGBEN FOLYTATOTT DENEVÉRKUTATÁSOK ÚJABB EREDMÉNYEI

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, TTK, Állattani Tanszék

Az Északi-középhegység denevérfaunáját tekintve hazánk legértékesebb területe. Az utóbbi évtizedekben intenzív denevérkutatás folyik a területen a legkülönbözőbb adatgyűjtési módszerekkel. A búvóhelyeken és táplálkozóterületeken folytatott vizuális megfigyelések, befogásos módszerek mellett jelentős mértékben előtérbe kerültek a bioakusztikai kutatások. A hangalapú adatgyűjtések nagy mennyiségű adatot eredményeznek, melyek új faunisztikai adatok keletkezésén túl jól használhatóak a különböző karakterű és eltérő természetességű területek összehasonlításában is.



Az óriás koraidenevér hazánk egyik legritkább, legkevésbé ismert denevérfaja. Magyarországon az Északi-középhegységben, a Mátra, a Bükk, a Zempléni-hegység és az Aggteleki-karszt területén él szigetszerű állományokban, háborítatlan bükkösökben, ahol megfelelő búvóhelyet talál matuzsálemi korú fák odvában.

SZEDERJESI TÍMEA

LASSÚ MUNKÁHOZ IDŐ KELL: EGY KATALÓGUS HISTÓRIÁJA ÉS A ZOOLOGIAI GYŰJTEMÉNYEK JELENTŐSÉGE EGY TAXONÓMUS SZEMÉVEL

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, TTK, Állattani Tanszék

A természettudományos gyűjtemények jelentősége vitathatatlan: amellett, hogy nagy érdeklődésre tartanak számot a nagyközönség körében, a történeti, illetve modern megfigyelések összehasonlíthatósága révén kritikusan fontosak a biodiverzitás, az evolúció, a populációgenetika, valamint a globális léptékű változások, mint a klímaváltozás hatásának megértésében. Taxonómus szemmel nézve a gyűjtemények számos kutatás kimeríthetetlen forrását képezik. A klasszikus morfortaxonómiai vizsgálatok mellett a gyűjteményi példányok molekuláris filogenetikai, biogeográfiai és konzervációbiológiai kutatások alapját jelenthetik, a taxonómiai nevezéktani kérdések megválaszolásában is segíthetnek, illetve eddig leíratlan új fajokat rejthetnek. A gyűjtemények talán legértékesebb darabjai a típuspéldányok, ezek azok az egyedek, melyeket az adott fajok leírására használtak fel, ezen típusok kilétének ismerete szintén kritikus fontossággal bír.



Aporectodea smaragdina földigilisztafaj

A Bécsi Természettudományi Múzeum egy kicsi, de értékes Lumbricidae földigilisztagyűjteménynek ad otthont. A példányok többségét a 19. század végén és a 20. század közepén gyűjtötték főképp Ausztriából, de érdekes anyag érkezett Anatóliából, Olaszországból, a Balkánról, valamint Európa és a világ más részeiről is. Ezen adatoknak csupán egy részét publikálták, de átfogó katalógus sosem született a gyűjteményről, mivel sosem volt szakterületi kurátora, tulajdonképpen a valós tartalma is rejtély maradt. 2016-ben és 2017-ban volt lehetőségem egy-egy hetet elidőzni ebben a gyűjteményben, ekkor végeztem el a teljes gyűjtemény revízióját. Ezt követően jött a munka nehezebb része: a nehezen kiolvasható lelőhelyadatok dekódolása, detektívmunka a századfordulós irodalomban, rejtett típusok feltárása, bizonytalankodás, feladás, elengedés és újrakezdés, majd révbeérés – előadásomban e kutatás legfontosabb eredményeit mutatom majd be.

GYÖRÖSSY DOROTTYA¹, GYÖRÖSSY KRISZTINA²

DENEVÉRKUTATÁS ÉS TEKNŐSMENTÉS A NAGY-KORALLZÁTONY MENTÉN

¹*Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, TTK, Állattani Tanszék*

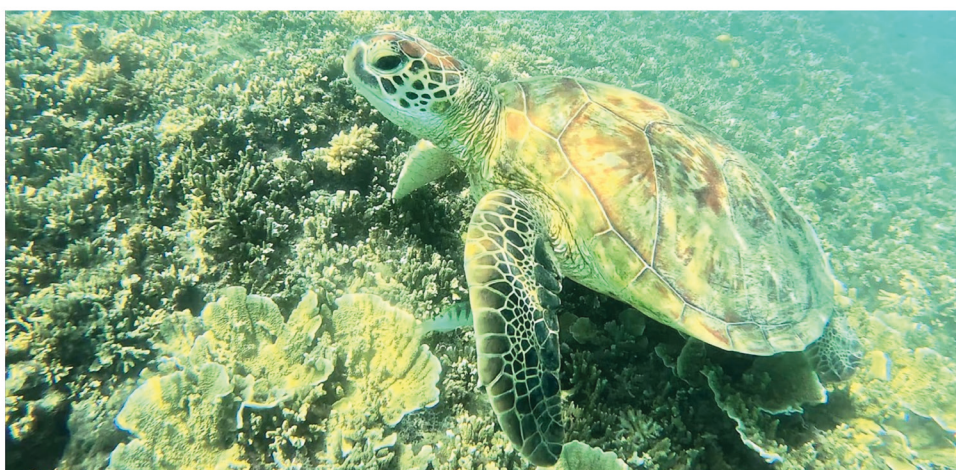
²*Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Neveléstudományi Doktori Iskola*

Előadásunkban hathetes ausztráliai kalandunkról tartunk beszámolót, amelynek egyik célja az ország biodiverzitásának és ökoszisztémáinak részletes vizsgálata, valamint a helyi természetvédelmi projektek és az ausztrál természetszeretet megismerése volt. Az expedíció során több ezer km-t tettünk meg öt államon keresztülhaladva, számos nemzeti parkot, botanikus kertet és vadállatmentő központot felkeresve.

A keleti és déli part mentén számtalan ikonikus állatfajjal találkoztunk, köztük kengurukkal és koalákkal, míg az *Outbackben* a sivatagi körülményekhez adaptálódott fajokat vizsgáltuk. Cairns környékén a Nagy-korallzátony, a trópusi esőerdők, a mangrovemocsarak és a gyümölcsevő denevérek biológiáját tanulmányoztuk.

Az expedíció során részt vettünk a *20. Nemzetközi Denevérkutató Konferencián* Cairnsben, ahol két előadás formájában mutattuk be bioakusztikai és virológiai témájú kutatásainkat. Ezzel egy időben részt vettünk a *Cairns Turtle Rehabilitation Centre* programjában, ahol tengeri teknősök rehabilitációjával, a Nagy-korallzátony megőrzésével és környezeti neveléssel foglalkoztunk.

A terepi tapasztalatok, a konferencián szerzett nemzetközi ismeretek és kapcsolatok együttesen elősegítik a denevérek és a tengeri teknősök konzervációját, valamint a biodiverzitás fenntartható kezelését a trópusi ökoszisztémákban.



Szürkefejű repülőkutya (*Pteropus poliocephalus*) Adelaide belvárosában és közönséges levesteknős (*Chelonia mydas*) a Nagy-korallzátonyon (fotók: Győrössy K.)

MÉSZÁROS TÍMEA

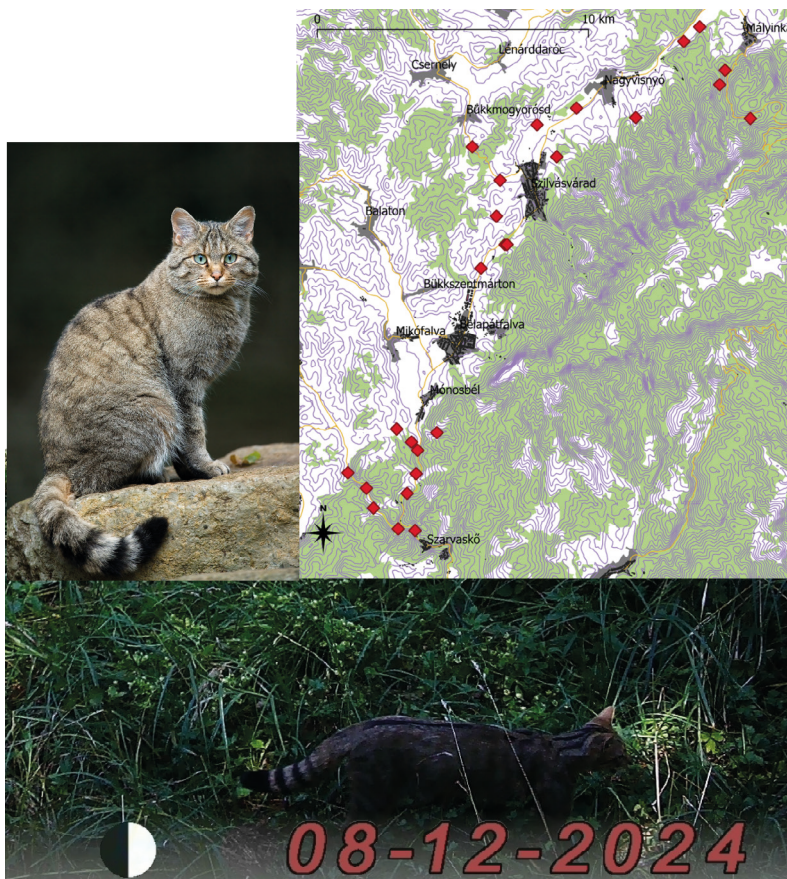
AZ EURÓPAI VADMACSKA (*FELIS SILVESTRIS*) KAMERACSPDÁS VIZSGÁLATA TERÜLETFOGLALÁSI MODELLEK SEGÍTSÉGÉVEL A BÜKK HEGYSÉGBEN

Biológia BSc szakos hallgató

Témavezetők: Kiss Csaba, Cserkész Tamás

A fokozottan védett európai vadmacska (*Felis silvestris*) rejtett életmódjának és alacsony populációsűrűségének köszönhetően az egyik legnehezebben kutatható és legkevésbé ismert emlősfaj Európában. Elterjedéséről és élőhelyhasználatáról hazánkban még mindig kevés részletes adat áll rendelkezésre. A faj állományainak feltérképezése és ökológiai igényeinek megértése alapvető fontosságú a természetvédelmi intézkedések megalapozásához és a hatékony fajvédelemhez. Kutatásomban kameracsapdás felvételek segítségével detektálási ráta és területfoglalási valószínűség alapján próbáltam becsülni a faj állománysűrűségét, illetve a térbeli mintázatok kiértékelésével az élőhely-preferenciákat. A kapott eredményeim nagyrészt összhangban állnak a jelenlegi szakirodalmakkal.

Az európai vadmacska (*Felis silvestris*) rejtett életmódjának vizsgálata a Bükk hegységben.



A térkép a 19 vadkamera pozícióját mutatja. Az alsó képen vadkamerával rögzített felvétel látható.

SZALKAI FRUzsINA

A SPHAGNUM (TŐZEGMOHA) FAJOK ELTERJEDÉSI VISZONYAI MADAGASZKÁRON ÉS RÉUNION SZIGETÉN HERBÁRIUMI PÉLDÁNYOK ÉS A SZAKIRODALMI ADATOK ALAPJÁN

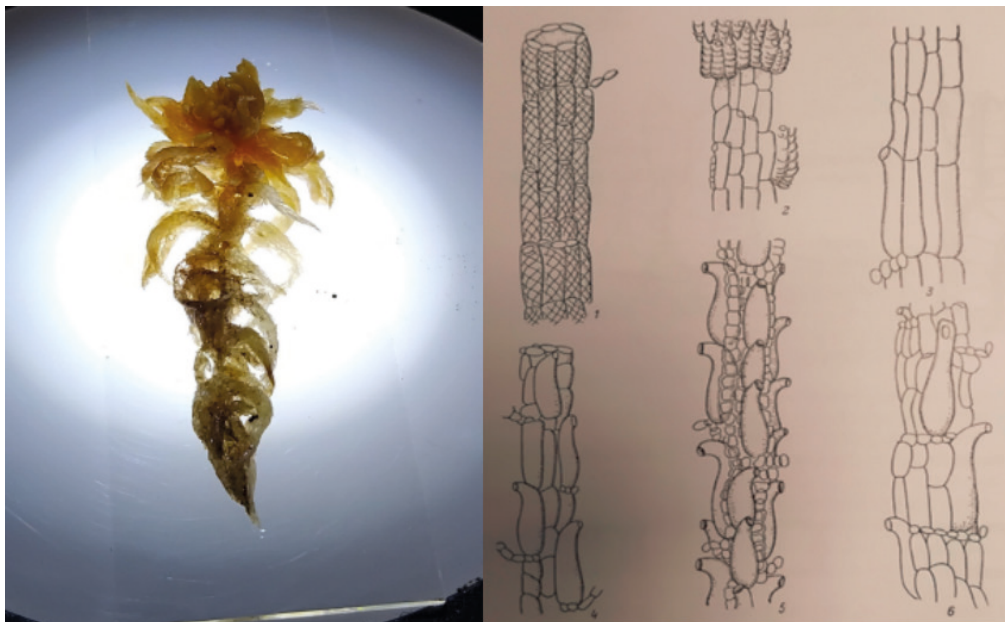
*Biológia BSc szakos hallgató**Témavezető: Sass-Gyarmati Andrea*

Kutatásaimat az Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Herbáriumában (EGR) végeztem, a herbáriumban elérhető tőzegmohafajokat (*Sphagnum*) vizsgáltuk, és a herbáriumi anyagban előforduló fajokra vonatkozó adatokat összevetettük a releváns szakirodalmi adatokkal. A kutatás során a szakirodalmi anyagok feldolgozása mellett mikroszkópos vizsgálatokat és a gyűjtési helyadatok elemzését végeztük el.

Az Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Növénytani Tanszékének kollégái prof. Pócs Tamás irányításával az 1960-as évektől vettek részt az afrikai mohaflóra feltárásában, nagy mennyiségű mohaanyag gyűlt össze elsősorban Tanzániából, Madagaszkárból, Kenyából, valamint az Indiai-óceán szigeteiről. Előadásomban Madagaszkáron és Réunion szigetén gyűjtött példányok adatait ismertetem.

Bevezetésként ismertetni fogom a *Sphagnum* fajok általános jellemzőit, megemlítve a legfontosabb morfológiai határozóbélyegeket. Bemutatásra kerül a vizsgált mohaanyag összeállított fajlistája, a gyűjtési területek szerinti vertikális és horizontális elterjedési mintázatuk, illetve a fajdiverzitás összehasonlítása Madagaszkár és Réunion szigete között.

Végezetül kiemelem a *Sphagnum* fajok kiemelkedő ökológiai szerepét és a további vizsgálatok jelentőségét.



A tőzegmohafajok (*Sphagnum*) morfológiai jellegzetességei.

A gametofita és sporofita nemzetség felépítése, színe, illetve a víztároló retorta sejtek, a klorofill és a hialin sejtek segítik a fajazonosítást.

RÓDE LEA

MIKROZÖLDEK BIOAKTÍV KOMPONENSEINEK ÉS ANTIOXIDÁNS-KAPACITÁSÁNAK VIZSGÁLATA ELTÉRŐ KEZELÉSI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

Biológus MSc szakos hallgató

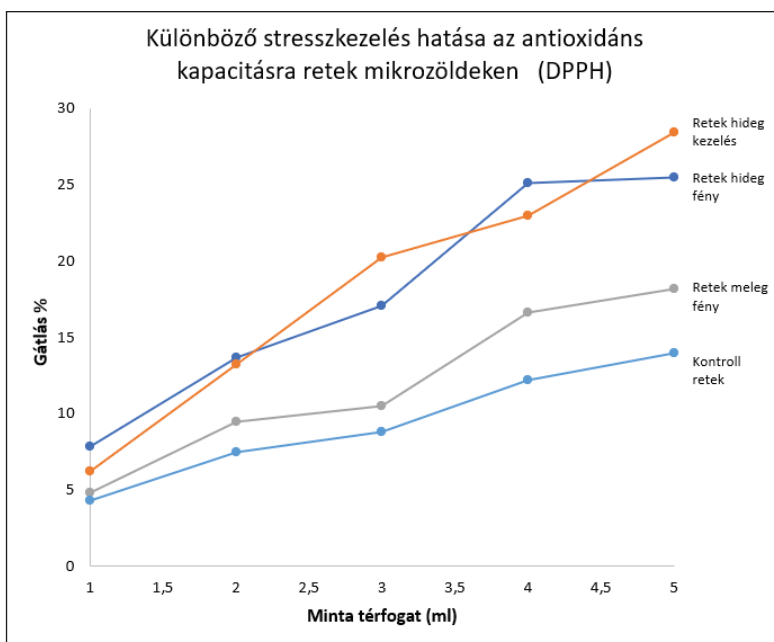
Témavezető: B. Tóth Szabolcs

A mikrozöldek rendkívül gazdagok bioaktív vegyületekben, köztük ásványi anyagokban, vitaminokban és antioxidánsokban, amelyek fogyasztása kedvező élettani hatással bír. A kutatás célját képezte a mikrozöldek antioxidáns-kapacitásának vizsgálata különböző termesztési körülmények között, valamint az antioxidáns-hatást okozó vegyületek azonosítása GC-MS módszerrel.

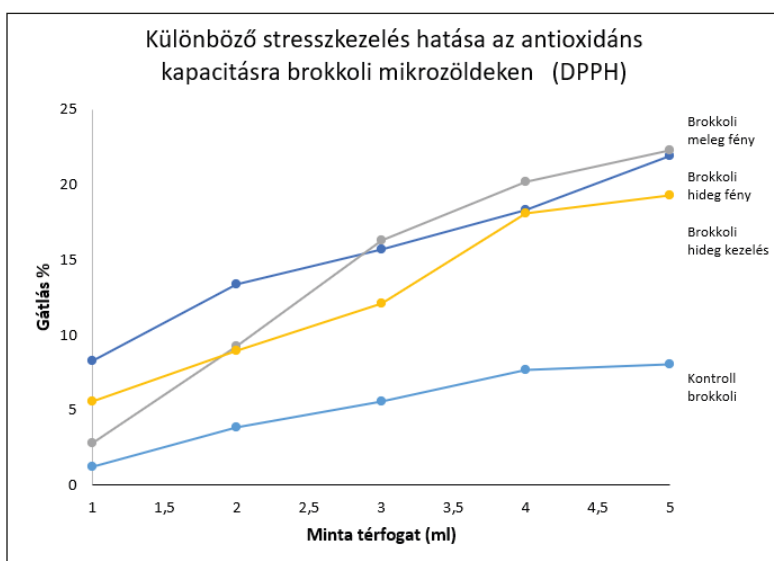
A vizsgálatokat retek (*Raphanus sativus china rose*), brokkoli (*Brassica rapa var sylvestris*) és fehér mustár (*Sinapis alba*) mikrozöldeken végeztük. A vizsgálat során öt kezelést alkalmaztunk: folyamatos hideg fény (5000K), folyamatos meleg fény (2700K), „okosvirágcserep” technológia (automatizált öntözés és világítás), hidegkezelés klímakamrában (állandó 18 °C, 16 h fény – 8 h sötétség), valamint kontrollcsoportként az otthoni konyhai fényviszonyokat modellezve, a mintákat üveglablak előtt helyeztük el. Az antioxidáns-kapacitás meghatározása DPPH és FRAP analitikai módszerekkel történt, melyet spektrofotometriásan detektáltunk, majd a mikrozöldekben jelen levő vegyületeket származékképzés (BSTFA/TMCS) után azonosítottuk GC-MS módszerrel.

Az eredményeket kiértékelve megállapítottuk, hogy a különböző kezelések szignifikánsan befolyásolták az antioxidáns-kapacitást mindhárom mikrozöldfaj esetében. A brokkoli, a retek és a fehér mustár különböző módon reagáltak az egyes környezeti tényezőkre.

Eredményeink azt mutatják, hogy a különböző kezelések kimutathatóan hatással vannak a brokkoli, retek és fehér mustár mikrozöldekben található vegyületek minőségére és mennyiségére, az optimális termesztési körülmények megválasztása jelentősen befolyásolhatja a vizsgált mikrozöldek beltartalmi értékét, különösen az antioxidáns-kapacitást okozó vegyületek mennyiségét és minőségét.



1. ábra: Retek mikrozöldek antioxidáns-kapacitásának változása különböző kezelési körülmények között



2. ábra: Brokkoli mikrozöldek antioxidáns-kapacitásának változása különböző kezelési körülmények között

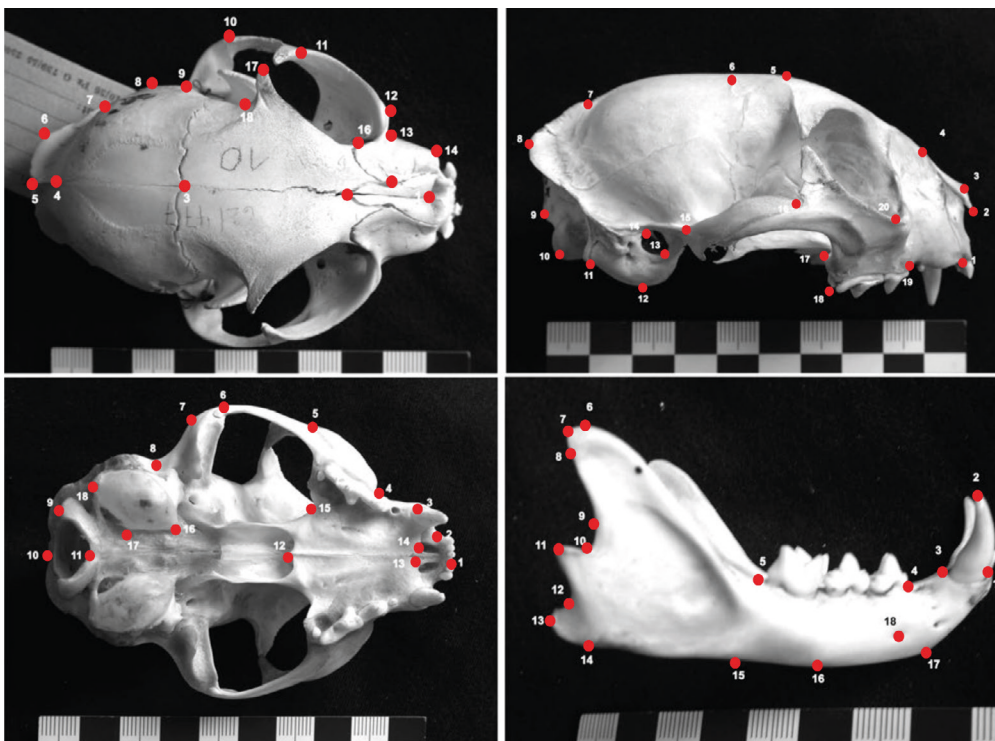
CSULIK LEILA

AZ EURÓPAI VADMACSKA (*FELIS SILVESTRIS*) ÉS A HÁZIMACSKA (*FELIS SILVESTRIS CATUS*) KOPONYAMORFOLÓGIAI ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA CT-FELVÉTELEK SEGÍTSÉGÉVEL

Biológus MSc szakos hallgató

Témavezetők: Kiss Csaba, Cserkész Tamás

Napjainkban egyre nagyobb veszélyt jelent a vadmacskák genetikai integritására és a faj evolúciós fennmaradására a kóborló házimacskákkal való kereszteződés. Konzervációbiológiai szempontból fontos ezen hibridizáció mértékének és hatásának a monitorozása. Kutatásom során a vadmacskák és házimacskák koponyamorfológiai összehasonlító elemzését szeretném elvégezni 3D-geometriai, -morfometriai vizsgálatok segítségével, illetve felmérni, hogy a két faj kereszteződése következtében milyen változások következnek be a hibrid egyedek megjelenésében. Kutatásomban a Magyar Természettudományi Múzeum Emlősgyűjteményének koponyáit digitalizálnám, majd ezen 3D-struktúrák főbb anatómiai részeire ráhelyezett jelölőpontok segítségével hasonlítanám össze az egyes egyedeket. Célom a statisztikai módszerekkel kimutatható eltérések és hasonlóságok ismertetése, bemutatása. Előadásomban kitérnék a hibridizáció morfológiára gyakorolt hatását vizsgáló korábbi eredményeimre, illetve előzetes adataimat szeretném prezentálni.



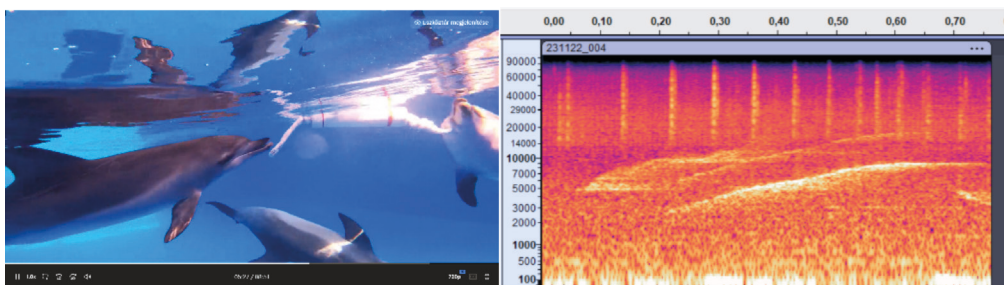
A jelölőpontok elhelyezkedése a koponyán. Forrás: Sefen & Heidecke, 2012, *Vertebrate Zoology*, 62(2), 281–294.

GROSCH-HORVÁTH EVELIN

DELFINÉK KOMMUNIKÁCIÓJÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

*Biológus MSc szakos hallgató**Témavezetők: Aradi Attila, Murányi Dávid*

Szakedolgozatomban egy kutatásban veszek részt, amely a delfinek kommunikációs kódjának megfejtését tűzte ki célul. A delfinek akusztikus kommunikációja régtől és viszonylag sokat vizsgált, részleteiben azonban igen kevésbé ismert jelenség. Munkám során taiwani delfináriumban élő palackorrú delfinek (*Tursiops truncatus*) hosszú időn át és különböző élethelyzetekben rögzített hangjainak összehasonlító elemzését végzem. Célom a delfinek kommunikációjában az ismétlődő mintázatok feltárása, az egyes mintázatok gyakoriságának és adott élethelyzetekhez kapcsoltságának kiértékelése, valamint a delfinek kommunikációjának az emberi kommunikációval való összevetése.



A taiwani delfinárium palackorrú delfinjei (*Tursiops truncatus*) és a hangjuk spektrogramja

DÉKÁNY GERGELY

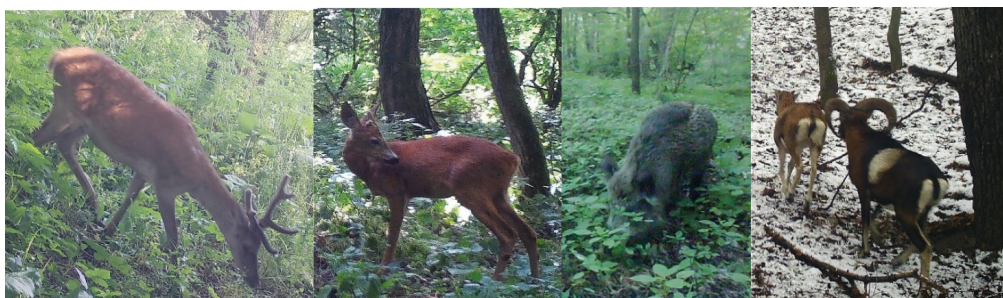
NAGYVADFAJOK KAMERACSPADÁS VIZSGÁLATA NAPI AKTIVITÁSMINTÁZATOK SEGÍTSÉGÉVEL A BÜKK HEGYSÉGBEN

Biológia BSc szakos hallgató

Témavezetők: Kiss Csaba, Cserkész Tamás

A nagyvadfajok, mint a gímszarvas (*Cervus elaphus*), az európai őz (*Capreolus capreolus*), az európai muflon (*Ovis gmelini orientalis*) és a vaddisznó (*Sus scrofa*) meghatározó szereplői a hazai erdei ökoszisztémáknak. Tér- és időbeli aktivitásmintázatuk ismerete elengedhetetlen az állománykezelés, a természetvédelmi tervezés, valamint az ember–vad konfliktusok megelőzése szempontjából. Kutatásomban a Bükk hegység különböző élőhelytípusaiban kihelyezett kameracsapdák felvételeit elemeztem, melyekből a célfajok napi aktivitásritmusát vizsgáltam, különös tekintettel az évszakos változásokra és a fajok közötti potenciális időbeli elkülönülésükre.

A kapott eredmények azt mutatják, hogy a nagyvadfajok aktivitása jellemzően szürkületi és éjszakai csúcsokat mutat, ugyanakkor az élőhelytípusok és az évszakok befolyásolhatják a napi aktivitásukat.



A kameracsapdával vizsgált nagyvadfajok: gímszarvas (*Cervus elaphus*), európai őz (*Capreolus capreolus*), vaddisznó (*Sus scrofa*) és európai muflon (*Ovis gmelini orientalis*)

MUKUS GÁBOR

EEG-AKTIVITÁS JELLEMZÉSE KÜLÖNBÖZŐ MÉRTÉKŰ ÉS JELLEGŰ FIGYELMET IGÉNYLŐ FELADATOK VÉGZÉSEKOR

*Biológia–kémia tanár szakos hallgató**Témavezető: Emri Zsuzsa*

Az EEG-aktivitások monitorozásával a diákok kognitív folyamatairól gyűjthetünk információt. Kontrollaktivitásként csukott és nyitott szemű relaxációt, a maximális kognitív terhelés kiváltására pedig fejszámolási feladatot használtunk. Az EEG-mérés kiértékeléséhez a mérés után kitöltött feladatlapokat, önértékelési teszteket és egy VARK-kérdőív eredményét használtuk fel. A feladatlapok a biológiai témájú szövegek tartalmára és szóanyagára, az önértékeléses teszt a feladatok nehézségére, fáradtságra, mérés alatti stresszre kérdezett rá, a VARK tanulási stílus kérdőív pedig a tanulók információszerzési preferenciáját mutatta meg. Alapvetően három típusfeladatot: olvasott szövegértési, hallott szövegértési és audiovizuálisan megjelenített tartalmú feladatot használtunk.

Előadásom fő fókuszát ezen feladatok és mérések eredményeinek, illetve részeredményeinek prezentálása adja, rövid elméleti és szakirodalmi ismertetéssel. Munkám során a fő kérdés az, hogy a tanulási stílus, az információfeldolgozási preferencia mennyire van szinkronban a feladatok eredményével, mennyire esik egybe a tanulásstílus-kérdőívvel felállított feltevésekkel, a feladat alatti agyi működéssel, a tanulási stílus mellett milyen egyéb tényezők befolyásolják a feladatmegoldás eredményességét.



Az EEG-méréshez használt EpoC Emotiv EEG-készülék

BENKE ANNAMÁRIA

NEUROMODULÁTOROK DINAMIKÁJÁNAK VIZSGÁLATA PROBABILISZTIKUS TANULÁSI PARADIGMA SORÁN, SZÁLFOTOMETRIÁS MÉRÉSEK SEGÍTSÉGÉVEL EGEREKBEN

*Biológia BSc szakos hallgató**Témavezető: Hangya Balázs¹, Szabó Írisz¹**Társszerzők: Yi Shih Lee¹, Király Bálint^{1,2}, Pillár Vivien^{1,3}*

¹ Kísérleti Orvostudományi Intézet, Lendület Rendszeridegtudományi Laboratórium, Budapest

² Mesterséges Intelligencia Intézet, Bécsi Orvostudományi Egyetem, Bécs

³ Neurobiológiai és Neurodegeneratív Betegségek Kutatócsoport, Semmelweis Egyetem – HCEMM, Budapest

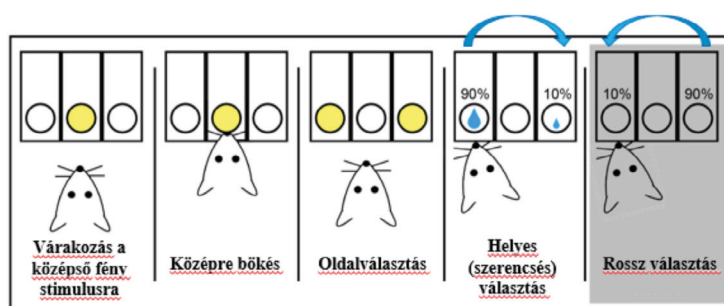
A dopamin (DA), acetilkolin (ACh), noradrenalin (NA) és szerotonin (5-HT) kulcsszerepet játszanak a tanulásban, figyelemben, gyors adaptációban, valamint befolyásolják a döntéshozatalt, szabályozzák a viselkedést. Rendellenességeik megfigyelhetők olyan meghatározó neurodegeneratív kórképekben, mint az Alzheimer- és a Parkinson-kór, amelyekben súlyosan sérülhetnek a kognitív képességek. Bár sok mindent tudunk ezen neuromodulátorokról, pontos dinamikájuk döntéshozás közben még nem ismert.

Célunk annak vizsgálata, hogy a folyamatos alkalmazkodást igénylő környezet hogyan befolyásolja a tanulást. Milyen szerepet játszanak a neuromodulációs rendszerek ezekben az adaptív mechanizmusokban?

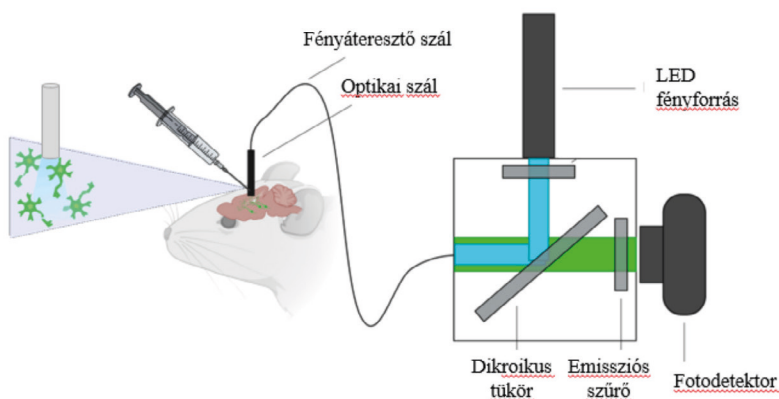
Kísérleteinkben vízkorlátozott, szabadon mozgó, fiatal nőstény és hím egereket helyezünk egy automatizált tanító rendszerbe 1 hétre, ahol a következő feladatot hajtják végre: fénystimulációt követően bal vagy jobb oldali vízadagoló nyílás közül kell választaniuk, amelyek különböző valószínűséggel kódolják a vízjutalmat. A környezet előrejelezhetőségét és változékonyságát valószínűségek és blokkhosszúságok segítségével szabályozzuk. A közeli valószínűségeket és rövid blokkokat változékonynak, a távoli valószínűségeket és hosszú blokkokat pedig kiszámíthatónak értelmezzük. Ezt követően fluoreszcens jeleken alapuló méréseket végzünk – szálfotometriás felvételek – DA, ACh, NE bioszenzorok agyszövetbe juttatásával a prefrontális kéregből és a mély agyi magokból (bazolaterális amigdala, ventrális striátum).

Eredményeink azt mutatják, hogy a DA a jutalom feldolgozását és a predikciós hibát kódolja, az ACh szerepe a döntéshozatalban meghatározó, az NE pedig a felfedező viselkedések serkentéséért felelős. Ezek a neuromodulátorok együttesen hatnak egymásra, hogy modulálják a jutalom feldolgozását, a döntéshozatalt és az adaptív viselkedési válaszokat.

Ezt a munkát a Magyar Tudományos Akadémia NAP3.0 (NAP2022-I1/2022) programja, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap forrásából származó NKFIH K147097 támogatás, valamint a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap forrásából származó ÚNKP-23-2 Új Nemzeti Kiválósági Program támogatta. Köszönetünket fejezzük ki Lengyel Katalinnak a szövettani vizsgálatokban nyújtott segítségével.



Ábra 1: Kísérleti paradigma (Birtalan et al, 2020)



Száloptikás fotometria mérőberendezés

OLÁH LÁSZLÓ ISTVÁN

ÖSSZEHASONLÍTÓ FAUNISZTIKAI VIZSGÁLATOK AZ EGRSZALÓKI TERMÁLVIZEK ÉLŐVILÁGÁN

Biológia BSc szakos hallgató

Témavezető: Murányi Dávid

Az egerszalóki termálvizek kitermelése az 1960-as években kezdődött, ekkortól van jelen a környéken a szabad elfolyású, magas sótartalmú meleg víz. A Laskó-patakba torkolló, rövid lefolyású mesterséges vízfolyás új, az éghajlattól idegen élőhelyeket teremtett, amelyek vizsgálata az 1980-as évekre nyúlik vissza. A termálvizek élővilágáról 2003-ban született összefoglaló tanulmány, amely részletesen vizsgálta a vizes élőhelyek algafldróját és gerinctelenfaunáját. A következő években a környék termáلتurizmusának kiépítésével a termálvízfolyást jelentősen módosították, valamint további mesterséges meleg vizes élőhelyeket hoztak létre. A vizek élővilágáról újabb összehasonlító vizsgálat azóta nem született.

A vízi fauna összetétele és mennyiségi viszonyai jól tükrözik az adott élőhely állapotát, természetességének mértékét. Ezt egészíti ki a kémiai és fizikai paraméterek vizsgálata, amely szintén jól tükrözi az élőhelyek állapotát, potenciális inváziós folyosóként való működését.

Célkitűzésem az egerszalóki termálvizek élővilágának összehasonlító térképezése, a különböző élőhelyfoltok és patakszakaszok természetességének értékelése, az inváziós és potenciálisan inváziós fajok általi veszélyeztetettség felmérése.

A terepi vizsgálatokat és gyűjtéseket egyelő és vízihálós gyűjtéssel végezzük. A gyűjtések a vegetációs időszak különböző aspektusaira és a téli nyugalmi periódusra is kiterjednek. A laboratóriumi vizsgálatok során sztereómikroszkópot használunk az egyedek faji beazonosításához. Az adatok kiértékelése az összehasonlító faunisztikában szokásos statisztikai módszerekkel történik.



A terepi munka során készített felvételek.

A cifrarák (*Faxonius limosus*) és a sárgafülű ékszerteknős (*Trachemys scripta scripta*) két gyakori invazív faj.

Vízminőség meghatározása: pH-mérés terepen.

2025

JUBILEUMI TUDOMÁNY ÜNNEP

200 ÉV A TUDÁS ÉS A TÁRSADALOM SZOLGÁLATÁBAN

Regős János terem avatása

Időpont: 2025.november 24. 14:00-15:00
Helyszín: EKKE, Leányka utca 12. D épület, 318

**2025.
november
24.**



www.uni-esztehazy.hu/mtu2025



Regős János

1940. július 5. - 2022. szeptember 5.

A „REGŐS JÁNOS TEREM” AVATÁSA*

November 24-én 14 órától került sor a D épületben a Regős János terem felavatására. Az ünnepséget megtisztelte jelenlétével Regős Zsófia, Regős János testvére és lánya, Regős Rita. Varga János, az Állattani Tanszék docense ismertette Regős János életét és munkásságát. Az egri évek előtti időszak felelevenítésében nagy segítségünkre voltak a Regős Erikától kapott életrajzi adatok. Rendkívül eseménydús és eredményes életpályát ismerhetett meg a hallgatóság.

Regős János kutatói életpályáját a MTA Genetikai Kutatóintézetben kezdte, majd Svájcban a Ciba Geigy Gyógyszergyárban folytatta. Több publikáció bizonyítja kiváló munkáját, de érdeklődése korán a trópusi őserdők és a tengerek élővilága felé fordult. Számos expedíció vett részt Közép- és Dél-Amerikában. Ezeknek az expedícióknak az eredményeit foglalja össze Regős János első könyve: *Dei grüne Höle - einbedrohtes Paradies. Bericht aus dem Regenwald* (A Zöld Pokol – a veszélyeztetett paradicsom. Jelentés az esőerdőből). A könyv 1987-ben jelent meg németül Budapesten az Akadémiai Kiadó, illetve a német Paul Parey Kiadó gondozásában. Orosz fordítása is létezik, de sajnos magyarul nem jelent meg, pedig a kézirat magyarul készült eredetileg. Amint a könyv címe is mondja, a sokszor „zöld pokolnak” gondolt őserdők nagyon is élhető és gyönyörű, paradicsomhoz hasonló helyek. Az óceánokhoz hasonlóan gazdag állat- és növényvilággal rendelkeznek, amelyek védelme kiemelten fontos feladat, kulcsfontosságú a földi biodiverzitás megőrzésében. Az expedíciók során begyűjtött állatokból később új fajokat írtak le, illetve számos ilyen állat egy adott faj paratípusaként szolgál. Egy új kígyófajt, az *Oxybelis acuminatust* 2021-ben írta le Jadin és kutatócsoportja, és a Regős János 1980-as perui expedíciója során begyűjtött példány az új faj egyik paratípusa¹. 1981-ben jelent meg az Amphibia-Reptilia folyóiratban Andreas Schlüterrel írt cikke² a perui őserdőben élő, habfészket készítő békáról, a *Lithodytes lineatus*ról, majd további cikkek születtek ennek a békafajnak a szaporodásáról³, életmódjáról, együttéléséről a levélvágó hangyákkal⁴.

1983–1985 között a Baseli Egyetemen evolúció és ökológia témakörökben képezte tovább magát, hogy bővítse természetvédelmi ismereteit, és hogy ezekben a témákban is taníthasson. Ezzel a végzettséggel kapott állást Nicaraguában a Managuai Egyetemen, ahol trópusi és tengeri ökológiát tanított (1985-től 1989-ig).

Egyetemi kollegáival és diákjaival számos expedíciót szervezett Costa Ricába, Kubába és Nikaraguán belül is. Ezeket az expedíciókat foglalja össze 1989-ben megjelent könyve, az

* A beszámolót Regős Erika édesapjáról küldött életrajzi leírás alapján Emri Zsuzsa szerkesztette, és egészítette ki a bibliográfiai adatokkal.

„Introducción a la ecología tropical” (Bevezetés a trópusi ökológiába), amelyet a Managua-i Egyetem adott ki, illetve egy cikke, amelyben Nicaragua hullófaunáját írja le⁵.

1990-ben tért vissza Magyarországra, és ő lett a magyar tengerökológia megalapítója, az egyetlen magyar tengerökológia tankönyv szerzője⁶. Az Eötvös Loránd Tudományegyetemen és az Eszterházy Károly Katolikus Egyetem jogelődjeiben is Regős János nevéhez fűződik a tengerökológia tantárgy bevezetése, tananyagának kidolgozása. A tantárgyhoz egy terepgyakorlat is tartozott, amelyet Regős János személyesen vezetett.

Egyetemi oktatómunkája mellett számos ismeretterjesztő előadást tartott a trópusi őserdők és a tengerek élővilágáról. Ismeretterjesztő írásaival és fotóival rendszeresen találkozhattunk a „Búvár”, az „Élet és Tudomány”, illetve „A Természet Világa” folyóiratokban.

Regős János és Lénard Borbála rovargyűjteményét, a Regős János útjain látott állatokról és növényekről készített diaképeket a Magyar Természettudományi Múzeum Állattára őrzi, szakirodalmi könyvtárát, oktatómunkája során használt videófelvételeit pedig az Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Állattani Tanszéke a Regős Jánosról elnevezett teremben.

Regős János tudása, embersége és szakmai hozzáállása diákjaiban és kollégáiban is mély nyomott hagyott, emléke máig él. A róla elnevezett teremmel nemcsak a magyar tengerökológia alapítójának állítunk emléket, hanem egy olyan tanáregyéniségnek is, aki sokat tett azért, hogy az egri biológusképzésből természetet szerető és értő módon kutató diákok kerüljenek ki.



¹ Jadin, R. C., Jowers, M. J., Orlofske, S. A., Duellman, W. E., Blair, C. & Murphy, J. C. (2021). A new vine snake (Reptilia, Colubridae, Oxybelis) from Peru and redescription of *O. acuminatus*, *Evolutionary Systematics*, 5(1), 1–12., <https://doi.org/10.3897/evolsyst.5.60626>.

- ² Schlüter, A. & Regős, J. (1981). *Lithodytes lineatus* (SCHNEIDER, 1799) (Amphibia: Leptodactylidae) as a dweller in nests of the leaf cutting ant *Atta cephalotes* (LINNAEUS, 1758) (Hymenoptera: Attini). *Amphibia-Reptilia*, 2(2):117–121. <https://doi.org/10.1163/156853881X00159>
- ³ Regős, J. & Schlüter, A. (1984). Erste Ergebnisse zur Fortpflanzungsbiologie von *Lithodytes lineatus* (Schneider, 1799) (Amphibia: Leptodactylidae). *Salamandra* 20, 251–261.
- ⁴ Schlüter, A. & Regős, J. (1996). The tadpole of *Lithodytes lineatus* - with note on the frog's resistance to leaf-cutting ants (Amphibia: Leptodactylidae). *Stuttgarter Beitrage zur Naturkunde. Serie A (Biologie)* 536(4S). Staatliches Museum für Naurkunde, Rosenstein 1, D-70191 Stuttgart.
- ⁵ Vences, M., Franzen, M., Flaschendrager, A., Schmitt, R. & Regős, J. (1989). Beobachtungen zur Herpetofauna von Nicaragua: Kommentierte Artenliste der Reptilien. *Salamandra*, Rheinbach, 34(1), 17–42.
- ⁶ Regős J. (1996). Bevezetés a tengerökológiába. Eszterházy Károly Tanárképző Főiskola, Eger.

