



SOPRONI
EGYETEM |

ERDŐMÉRNÖKI
KAR



Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa 2026, I. Kötet

Szerkesztette: Czimber Kornél



Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa 2026

I. Kötet

Szerkesztette:
Czímber Kornél



SOPRONI EGYETEM KIADÓ

SOPRON, 2026

Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa
2026

I. Kötet

Felelős kiadó: **Prof. Dr. Fábián Attila**

a Soproni Egyetem rektora

A kiadványt szerkesztette:

Prof. Dr. Czimber Kornél

A kiadványban megjelent cikkeket lektorálták:

Dr. Balázs Pál, Dr. Benke Attila, Dr. Brolly Gábor, Prof. Dr. Csóka György,
Dr. Folcz Ádám, Dr. Frank Norbert, Prof. Dr. Heil Bálint, Dr. Kalicz Péter,
Dr. Keserű Zsolt, Dr. Kovács Gábor, Prof. Dr. Lakatos Ferenc, Dr. László Richárd,
Dr. Molnár Tamás, Dr. Polgár András, Dr. Schiberna Endre, Dr. Somogyi Zoltán,
Dr. Sándor Gyula, Dr. Tari Tamás, Dr. Vityi Andrea

A kiadvány a 2026-os Erdészeti Tudományos Konferencia előadásaihoz kapcsolódó tudományos publikációkat tartalmazza.

Címlapon: Lendvadedesi tó, fotót készítette: Czimber Kornél

Soproni Egyetem Kiadó

Sopron, 2026.

ISBN 978-963-334-575-7 (pdf)

<https://doi.org/10.35511/978-963-334-575-7>

Creative Commons license: CC BY-NC-SA 4.0 DEED



Az online verzió elérhetősége:

https://emk.uni-sopron.hu/images/dekani_hivatal/Kiadvanyok/ETK_2026-1.pdf

Ajánlott hivatkozás:

Czimber K. (szerk.) (2026): Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa
2026, Soproni Egyetem Kiadó, Sopron.

Tartalom

ÁCS NORBERT, CZIMBER KORNÉL, NAGY MIKLÓS, FOLCZ ÁDÁM, SÁNDOR GYULA, KONCZOS TIBOR, SZÜCS KÁLMÁN: EVELIN: országos és operatív műholdas erdőállapot megfigyelő rendszer fejlesztése, validálása és összekapcsolása szakmai rendszerrel	4
MASSANG'W, SAMWELY AXWESO, IGNÁCZ KORN, BALÁZS PÖLÖSKEI, NORBERT VIZI, BENCE GALLAI, ANDRÁS NÁHLIK, TAMÁS TARI: Micro-Habitat Selection by Mouflon in the Bakony Mountain Region	11
BAZSÓ TAMÁS, BARBÉLY ENIKŐ, BROLLY GÁBOR: Domborzatmodell készítése műontomográf mérésekhez a Sopronbánfalvi Geodinamikai Observatóriumnál.....	19
LÁSZLÓ ISTVÁN BEIER, SÁNDOR NAGY, FERENC JÁNOSKA: Agrárélőhelyek bonitáció-alapú értékelése a szürke fogoly (<i>Perdix perdix l.</i>) bioakusztikus észlelései alapján.....	25
BENDE, A., HEGYI-NÁNDORI, A. LÁSZLÓ, R., MARSAL, M., ÖRKÉNYI, A., MALIK, P., JÁNOSKA. F., BÁNÁTI, L.: A rekombináns myxoma vírus (ha-Myxv) aktuális járványügyi helyzete Magyarországon	32
BENKE ATTILA, BEREZKI KATALIN, CSEKE KLÁRA, MOLNÁR CSILLA ÉVA, TAKÁCS ROLAND, KÖBÖLKUTI ZOLTÁN ATTILA: Nyarak egy változó kor küszöbén – az erdészeti nemesítés válasza a klímaváltozás keltette kihívásokra.....	40
BEREZKI KATALIN, BENKE ATTILA, TÓTH ENDRE GY., MEGYES MELINDA, KORPONAI KRISTÓF, SZILI-KOVÁCS TIBOR, ILLÉS GÁBOR, MÁRIALIGETI KÁROLY: Talajbaktérium- közösségek szerkezetének és respirációs aktivitásának vizsgálata hazai erdőállományokban	46
BIDLÓ ANDRÁS, BANADICS ADRIENN, BALÁSZ PÁL, VÉGH PÉTER: Magyarországi erdők talajának szerves szénkészlete.....	55
BODORKÓS DÁNIEL, ZALAVÁRI JÓZSEF, HORVÁTH PÉTER GYÖRGY: A tárgytervezés és a környezetvédelem kapcsolata.....	63
BOROVICS ÁBEL, KIRÁLY ÉVA, KESERŰ ZSOLT, SCHIBERNA ENDRE: Az éghajlatváltozáshoz történi alkalmazkodás és a klímamitigáció egyensúlyának megteremtése erdőgazdálkodási döntések révén – egy hazai esettanulmány.....	71
BROLLY GÁBOR: Erdőben található kerítések térképezési lehetősége UAV LiDAR adatokból	79
CZIMBER KORNÉL, HEIL BÁLINT, SZÁSZ BOTOND: Kritikus érzékenyséű termőhelyek távérzékeléses, terepi- és labor Vizsgálata a dél-alföldi régióban.....	84
DOBÓ MÁRTON, BOLLA BENCE, SZABÓ ANDRÁS: Vízigényes fafajok talajvízfelvételének részletes vizsgálata egy alföldi termőhelyen, a változó hidrológiai viszonyok függvényében	93
DOMINKÓ EMESE, KOVÁCS ZOLTÁN, RÉTFALVI TAMÁS: A harkai és a bajnai agrárerdészeti jellegű területek összehasonlítása a pollen- és mézminták alapján.....	100
MAHDI ECHAJARI, ISMAIL NIME, ANDRÁS POLGÁR: Methodological Patterns in Life Cycle Assessment of Municipal Wastewater Treatment: A Systematic Review.....	110
ELEKNÉ FODOR VERONIKA, NÁHLIK ANDRÁS, NÉMETH DÓRA, TÓTH MÁRTON, ÓRSI ÁRPÁD, LAKATOS FERENC, FÁBIÁN ATTILA, POLGÁR ANDRÁS: Soproni Egyetem „Sound of Earth” tanösvénye, mint élményalapú eszköz a fenntarthatósági attitűd formálásában	118

EPERJESI SÁNDOR MIKLÓS, NÉMETH TAMÁS MÁRTON, MÓRICZ NORBERT, LADOS BOTOND BOLDIZSÁR, DOBÓ MÁRTON ISTVÁN, CSEKE KLÁRA: Hazai szárazsági határon található kocsánytalan tölgyesek genetikai tartalékai	126
FAZAKAS BENEDEGÚZ, SCHMIDT DÁVID, VISINÉ RAJCZI ESZTER: A kék rizsjácint populációdinamikai és cönológiai viszonyai, élőhelyének vízkémiai vizsgálata a Hortobágy-Berettyó főcsatornán	137
FENYŐS ANTAL, HORVÁTH TAMÁS: Az örökzöld üzemű erdők eloszlása és főbb jellemzői az Országos Erdőállomány Adattár alapján.....	145
FOLCZ ÁDÁM, SÁNDOR GYULA: A Tanulmányi Erdőgazdaság kutatás-fejlesztési tevékeny - ségének eredményei 75 év távlatából	154
FRANK NORBERT: A 2009. évi erdőtörvény normatív változásai (2009–2025) Hányszor írható át ugyanaz az erdő?	162
GÖDE TAMÁS, FRANK NORBERT, CZIMBER KORNÉL: Mit hoz a jövő Sopron növényvilágának – avagy küzdelem a betolakodókkal	168
GRIBOVSZKI ZOLTÁN, HERCEG ANDRÁS, KALICZ PÉTER, KOVÁCS JÚLIA, ZAGYVAINÉ KISS KATALIN ANITA: Egy fenékküszöb hatása egy égeres talajvízszintjére – vízpótlási esettanulmány a Hidegvíz-völgy mintavízgyűjtőből, Sopron	172
GULYÁS GÁBOR, VERÓNÉ WOJTASZEK MALGORZATA: Precíziós technológiák alkalmazása a döntéstámogatásban az erdőfelújítási gyakorlatban	178
GYENGE DÁNIEL, KOVÁCS MÁRK FERENC, TARI TAMÁS: Erdővédelmi kerítések térfoglalása és karakterisztikai jellemzőik: adatalapú megközelítés a VERGA Zrt. Herendi erdészetének területén.....	185
HÁRS BORBÁLA, MAROSÁN MIKLÓS, FRANK NORBERT: Nonstop szolgálat? - A hivatásos vadász foglalkoztatásának gyakorlati jogi problémái.....	190
HARTL ÉVA, PREISINGER MÁRK: Erdőfelújítások társadalmasításának lehetőségei a madarak és fák napja emlékerdő példáján.....	198
HERCEG ANDRÁS, ZAGYVAINÉ KISS KATALIN ANITA, KALICZ PÉTER, GRIBOVSZKI ZOLTÁN: Erdei vízpótlás Magyarországon, mintapéldákon keresztül	205
HOFMANN TAMÁS, BENKE DÉNES, VISINÉ RAJCZI ESZTER: A Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti rendszerében termelt gyógynövények antioxidáns tartalmának vizsgálata	213
HOFMANN TAMÁS, ALBERT LEVENTE, VISINÉ RAJCZI ESZTER: A bükk (<i>Fagus sylvatica</i> L.) álgeszt színanyag molekuláris szerkezetének és képződésének komplex vizsgálata.	221
HOFMANN TAMÁS: A kocsányos tölgy (<i>Quercus robur</i> L.) és a vöröstölgy (<i>Quercus rubra</i> L.) levél polifenol készletének összehasonlító vizsgálata	230
HOFMANN TAMÁS, SZABÓ BENCE SÁNDOR, VISINÉ RAJCZI ESZTER: A talajtakarás hatása a kis télizöld (<i>Vinca minor</i> L.) antioxidáns és alkaloid tartalmára.....	236
HORVÁTH BÉLA: Szemelvények a hazai erdészeti gépgyártás történetéből	243
HORVÁTH FERENC, DEMETER LÁSZLÓ, LUKÁCS MÁRIÓ, PAPP VIKTOR, SZABÓ GÁBOR, SZEGLETI ZSÓFIA, VIG ÁKOS, ZIMMERMANN ZITA: Szarvas, muflon és a klíma- szárazodás szorításában – a vértesi Juhdöglő-völgy Erdőrezervátum agóniája	252
ILLÉS GÁBOR: Magyarország erdőterületeinek sérülékenységi vizsgálata	259

ILLÉS GÁBOR, FONYÓ TAMÁS, FOLCZ ÁDÁM: A TAEG ZRT erdőterületeinek vizsgálata a klímaváltozás fényében	268
IZSA DOROTTYA, FRANK NORBERT: A hazai arborétum-szabályozás ellentmondásai	273
KALICZ PÉTER, BROLLY GÁBOR: LiDAR pontfelhő feldolgozó szoftver környezet kialakítása HPC infrastruktúrán	278
KÁLMÁN MIKLÓS , BOLLA KRISZTINA, RÁCZ KÁROLY: A Pilis Bike hálózat fejlesztése, forgalmi adatai és a használói visszajelzések tapasztalatai – a fejlesztések, adatgyűjtés és a felhasználói igények összefüggéseinek bemutatása	285

EVELIN: ORSZÁGOS ÉS OPERATÍV MŰHOLDAS ERDŐÁLLAPOT MEGFIGYELŐ RENDSZER FEJLESZTÉSE, VALIDÁLÁSA ÉS ÖSSZEKAPCSOLÁSA SZAKMAI RENDSZERREL

EVELIN: Development, Validation, and Integration of a Nationwide Operational Satellite-Based Forest Condition Monitoring System

ÁCS NORBERT^{1,2}, CZIMBER KORNÉL^{1,2}, NAGY MIKLÓS², FOLCZ ÁDÁM³,
SÁNDOR GYULA³, KONCZOS TIBOR⁴, SZŰCS KÁLMÁN⁴

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet

²TopoLynx Kft.

³Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt.

⁴NaviscoN Zrt.

acs.norbert@phd-uni.sopron.hu

Kivonat

A cikk egy teljesen automatizált, Sentinel-2 alapú országos erdőállapot-megfigyelő rendszer fejlesztését mutatja be. A rendszer havonta automatikusan letölti az országot lefedő Sentinel-2 UTM képcsempéket a Copernicus adattárból, majd WebMercator (TMS) csempék szerint dolgozza fel a felvételeket. A feldolgozás során pixelalapú felhőszűrés történik több index kombinálásával, ezt követően felhőmentes kompozit kép készül. A program automatikusan előállítja a tárgyhoz és az előző év azonos hónapjának NDVI térképét, majd ezek kettős differenciáját számítja, amelynek segítségével az egyes időszakok összehasonlíthatóvá válnak, és a változások irányai a szakemberek számára is egyértelműen értelmezhetőek lesznek. A kompozitokból, NDVI és differencia képekből automatikusan TMS csempék készülnek, amelyek egy szerverre kerülnek és egy webes térképen jelennek meg. A rendszer összekapcsolódik több erdőszeti szakmai rendszerrel, mint pl. ESZR vagy erdőGIS, melyekben rasteres és vektoros adatokkal támogatja az erdőrészlet-szintű változáskövetését, a fahasználatokkal való összevetést és az erdőkár-bejelentés indítását.

Abstract

This paper presents the development of a fully automated, Sentinel-2-based nationwide forest condition monitoring system. The system automatically downloads Sentinel-2 UTM tiles covering the entire country monthly from the Copernicus data repository and processes the imagery according to Web Mercator (TMS) tiling schemes. During processing, pixel-based cloud filtering is applied using a combination of multiple spectral indices, followed by the generation of cloud-free composite images. The system automatically produces NDVI maps for the current month and the corresponding month of the previous year and subsequently calculates their double difference. This approach enables direct temporal comparison and provides an intuitive interpretation of the direction and magnitude of changes for forestry professionals. From the composite images, NDVI layers, and difference maps, TMS tiles are generated automatically, uploaded to a server, and visualized through a web-based map interface. The system is integrated with several forestry-related professional platforms, such as ESZR and erdőGIS, supporting compartment-level change detection, comparison with logging activities, and the initiation of forest damage reports using both raster and vector data.

Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben a klímaváltozás az erdei ökoszisztémák egyik legjelentősebb globális kihívásává vált. A növekvő hőmérséklet, a csapadékeloszlás átalakulása, valamint a

szélsőséges időjárási események – például az aszályok és hóhullámok – egyre gyakoribbá és intenzívebbé válnak, jelentős stresszt okozva az erdőállományok számára. Ezek a hatások csökkentik az erdők vitalitását és szénmegkötő képességét, miközben elősegítik a kártevők és kórokozók terjedését, ami nagyléptékű károkhoz vezethet. A közép-európai térség, így Magyarország erdei is különösen sérülékenyek, mivel több éghajlati hatás metszéspontjában helyezkednek el. A gyakoribbá váló száraz időszakok és a csökkenő talajnedvesség számos fafaj esetében fokozott leromlást és növekvő pusztulási kockázatot eredményez. Ebben a helyzetben kiemelt jelentőségű az erdők állapotának objektív, időben történő és nagy területre kiterjedő monitorozása, amelyhez a modern műholdas távérzékelési adatok hatékony eszközt biztosítanak. Mindaddig nem állt rendelkezésre olyan, a mindennapi erdőgazdálkodási gyakorlatba közvetlenül integrálható, operatív rendszer, amely a szakmai nyilvántartásokkal összekapcsolva hatékonyan támogatta volna az erdővédelmi problémák korai felismerését és nyomon követését.

A műholdas erdőmegfigyelés a távérzékelés egyik kiemelt alkalmazási területe, amely rendszeresen ismétlődő felvételek alapján teszi lehetővé az erdők állapotának és időbeli változásainak nyomon követését, különösen a különböző károsodási események korai detektálását. A hosszú távú erdődinamikai vizsgálatok klasszikus adatforrása a Landsat műhold program (Banskota et al. 2014), míg az operatív erdőmonitoringban napjainkban a Sentinel-2 műholdak váltak meghatározóvá kedvező térbeli felbontásuk és rövid visszatérési idejük miatt (Laštovička et al. 2020). Az erdők állapotának jellemzésére leggyakrabban vegetációs indexeket alkalmaznak, mint az NDVI, az EVI (Huete 2012) és az NDRE (Modzelewska et al. 2017), amelyek a növényzet vitalitását és stresszállapotát írják le. Az idősoros elemzések lehetővé teszik a fokozatos és hirtelen változások elkülönítését, valamint az olyan károsodási események objektív azonosítását, mint az aszály, rovargradáció vagy erdőtűz, amelyhez gyakran alkalmazzák a BFAST algoritmust (Wu et al. 2020). Az utóbbi években a Google Earth Engine jelentősen megkönnyítette a nagy területre kiterjedő, operatív erdő változás elemzéseket Landsat és Sentinel-2 adatok felhasználásával (Jahromi et al. 2020) (Shijuan et al. 2021) (Hird et al. 2021).

A műholdas adatokra épülő operatív erdőmonitoring rendszerek közül globális szinten a Global Forest Watch emelhető ki, amely Landsat-alapú idősoros elemzések segítségével követi nyomon az erdőborítás változásait (url 1). Európában kevés hasonlóan egységes, nyilvánosan elérhető rendszer működik, de ilyen például a német ForestWatch, amely Sentinel-2 és Landsat adatok felhasználásával támogatja az erdőkárosodások országos léptékű megfigyelését (url 2). Hasonló rendszerek találhatók Szlovákiában (url 3), Csehországban (url 4), Szlovéniában (url 5) és Norvégiában (url 6). Magyarországon a TEMRE országos lefedettségű műholdas erdőmonitoring platform, amely elsősorban MODIS és Sentinel-2 adatokra épül, és idősoros vegetációs indexek, főként az NDVI alkalmazásával követi az erdők egészségi állapotának alakulását (Somogyi et al. 2018) (url 7).

Anyag és módszer

A kutatás keretében egy többkomponensű, teljesen automatizált szoftverrendszert fejlesztünk, amelynek célja a magyarországi erdők egészségi állapotának folyamatos, országos léptékű nyomon követése műholdas távérzékelési adatok felhasználásával. A rendszer három fő komponensből áll: az adatok letöltéséért felelős modulból, a feldolgozó és kompozitkészítő modulból, valamint egy webes megjelenítő felületből.

Az első komponens a Sentinel-2 műholdfelvételek automatikus letöltéséért felel. A rendszer az adatokat L2A feldolgozási szinten szerzi be, amely már atmoszferikusan korrigált, felszíni reflektanciát tartalmazó termékeket jelent. A letöltés Magyarország teljes területét lefedő UTM csempék alapján történik. Minden hónapban az adott időszak összes olyan felvétele

kerül letöltésre, amelynek a Copernicus metaadatai szerint a felhőborítottsága nem haladja meg az 50%-ot. A letöltőmodult Python nyelven implementáltuk, amely lehetővé teszi az automatizált adatlekérést, a metaadatok kezelését és a feldolgozási lánc indítását.

A második komponens a műholdfelvételek feldolgozását végzi, amelyet C++ nyelven valósítottunk meg a nagy számítási igény miatt. A feldolgozás WebMercator vetületi rendszerben, rögzített térbeli felbontású csempék mentén történik. Minden 14-es nagyítási szintű WebMercator csempéhez hozzárendeljük az adott területet lefedő Sentinel-2 felvételek megfelelő pixeleit, amelyeket a további elemzéshez egységes rendszerben kezelünk.

A feldolgozás során kizárólag a 10 m térbeli felbontású sávokat (kék, zöld, vörös és közeli infravörös) használjuk. A pixelek DN-értékeit felszíni reflektanciává konvertáljuk, mivel az L2A termékekben az értékek alapvonala eltolásra került. Ezt követően minden egyes WebMercator pixel esetében megvizsgáljuk az oda eső összes Sentinel-2 felvétel pixelértékeit, és különböző spektrális indexek felhasználásával kiszűrjük a felhőkkel, árnyékokkal, zajjal és egyéb hibákkal érintett pixeleket. A megmaradó pixelek közül a legmagasabb NDVI értékkel rendelkező kerül kiválasztásra, feltételezve, hogy ez reprezentálja legjobban a vegetáció tényleges állapotát. Így minden pixelhez egy optimális forrásfelvételt rendelünk.

A kiválasztott pixelek alapján RGB kompozitképet állítunk elő, amelynek hisztogramját a közeli infravörös sáv figyelembevételével dinamikusan széthúzzuk a jobb vizuális értelmezhetőség érdekében. Emellett elkészítjük az adott hónap NDVI térképét is. A teljes feldolgozási folyamatot megismételjük az előző év azonos hónapjára vonatkozó felvételekkel, amely lehetővé teszi az időbeli összehasonlítást.

A képek összehasonlításához és az NDVI-alapú változások térképezéséhez nem egyszerű különbséget, hanem a kettős differencia módszerét használjuk (Czimer et al. 2023). Ez az eljárás lehetővé teszi az időbeli változások és a térbeli környezethez viszonyított eltérések együttes figyelembevételét, így robusztusabb módon képes kezelni a klimatikus szélsőségeket, valamint a fenológiai eltolódások hatásait.

Az NDVI kettős differenciát (DD) pixelenként számítjuk a felhőmaszkolt és időszakai maximum NDVI értékeket tartalmazó felvételek alapján az alábbi képlet szerint:

$$DD = (NDVI_{act} - NDVI_{actPerc}) - ((NDVI_{last} - NDVI_{lastPerc}))$$

ahol:

$NDVI_{act}$: aktuális felvétel NDVI értéke

$NDVI_{actPerc}$: aktuális felvétel NDVI értékeinek percentilise a pixel környezetében

$NDVI_{last}$: előző felvétel NDVI értéke

$NDVI_{lastPerc}$: előző felvétel NDVI értékeinek percentilise a pixel környezetében

A módszer előnye, hogy nemcsak az egymást követő időszakok közötti abszolút változást veszi figyelembe, hanem azt is, hogy az adott pixel hogyan viselkedik a környező területekhez képest. Ez különösen hasznos az egymást követő csapadékos és aszályos évek közötti különbségek, illetve az egymást követő aszályos időszakok változásainak feltárásában. Emellett a kettős differencia képes kezelni a fenológiai eltolódásokat is, mint például a késői lombfakadást vagy a korai lombelszíneződést. Ennek köszönhetően a károsodott erdőterületek nemcsak az előző időszakhoz, hanem a környező állományokhoz viszonyítva is azonosíthatók.

Az elkészült kompozitképeket, NDVI és differencia térképeket TMS (Tile Map Service) képcsempékként mentjük el. Ezt a megoldást azért választottuk, mert a TMS-alapú kiszolgálás országos léptékű raszteres adatok esetében lényegesen kisebb memóriaigénnyel jár, mint

a hagyományos térképszervert alapú megoldások (pl. GeoServer, MapServer), még ha nagyobb tárhelyet is igényel. Ez a kompromisszum lehetővé teszi a gyors és stabil megjelenítést.

A harmadik komponens egy saját fejlesztésű webes térképi megjelenítő felület (url 8). A webalkalmazás natív HTML, CSS és JavaScript technológiákra épül, a felhasználói felület kialakításához a Bootstrap keretrendszert, míg a térképi megjelenítéshez az OpenLayers könyvtárat használtuk. A felületen a legyártott monitoring rétegek interaktívan megtekinthetők, emellett lehetőség van erdőrésztetek szerinti keresésre, valamint különböző mérési eszközök használatára.

A rendszer több erdészeti szakmai rendszerrel fog kapcsolatot létesíteni a jövőben, mint pl. ESZR vagy erdőGIS, támogatva az erdőrészlet szintű változáskövetését, a fahasználatokkal való összevetést és az erdőkár bejelentés indítását.

Eredmények

A fejlesztés eredményeként egy teljesen automatizált, országos léptékű erdőmonitoring rendszer jött létre, amely paraméterezzhető módon, alapértelmezetten havi gyakorisággal dolgozza fel a Sentinel-2 műholdfelvételeket. A rendszer visszamenőleges feldolgozások elvégzésére is alkalmas, így hosszabb idősorok előállításra is megvalósítható.

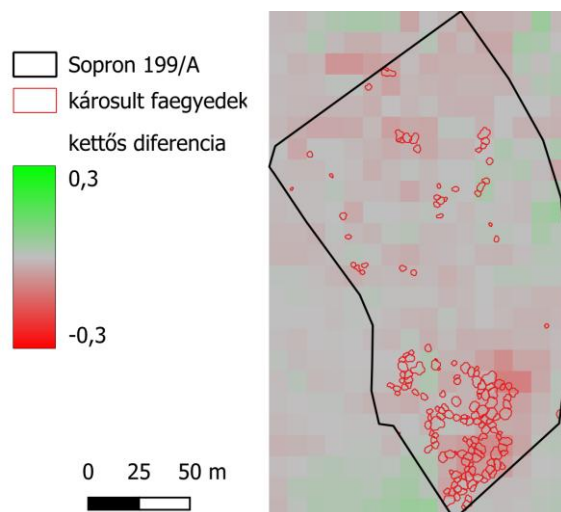
Minden feldolgozási ciklus során – amennyiben az időjárási körülmények ezt lehetővé teszik – egy felhőmentes RGB kompozit, az aktuális hónap NDVI maximum térképe, az előző év azonos időszakára vonatkozó NDVI maximum térkép, valamint ezek kettős differenciája kerül előállításra. A térképi termékek TMS formátumban, több nagyítási szinten, 10 m-es térbeli felbontással készülnek, amely gyors és alacsony erőforrás igényű webes kiszolgálást tesz lehetővé. A létrehozott rétegek egy saját fejlesztésű webes térképi felületen is megjeleníthetők, amely lehetőséget biztosít az interaktív böngészésre és az összehasonlító vizsgálatokra, így a rendszer nemcsak adatelőállító, hanem operatív döntéstámogató eszközként is funkcionál (1. ábra). Ezek mellett különböző erdészeti szakmai rendszerekbe is beépítésre kerül.



1. ábra: Webes megjelenítő alkalmazás kettős differencia térképpel

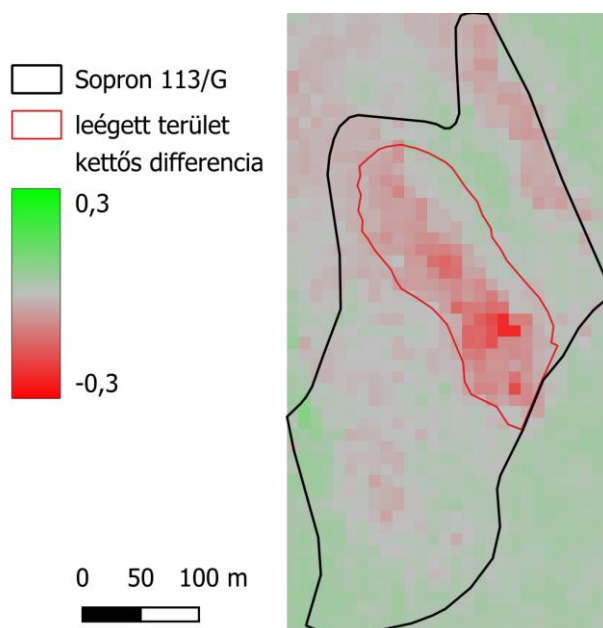
A rendszer részletes terepi validációja egy külön, jelenleg megjelenés alatt álló tanulmányban kerül bemutatásra. Ebben a cikkben a terepi eredmények kizárólag a módszer gyakorlati alkalmazhatóságának és operatív hasznosságának szemléltetését szolgálják.

Az első terepi validáció a Sopron 199/A erdőrésztben történt, ahol a műholdas alapú állapotértékelések pontosságát UAV-felvételek és légi lézerszkennelés (ALS) adatainak felhasználásával vizsgáltuk. Egyedi koronaszintű szegmentálást végeztünk és nagy felbontású NDVI térképet állítottunk elő. A szegmentált koronákhoz egyedi NDVI értékeket rendelünk, majd a fákat vitalitási osztályokba soroltuk, amely lehetővé tette a károsodott egyedek azonosítását. A kettős differencia térképek, az UAV-felmérés és a terepi szemle egyaránt igazolták a lucfenyő-állomány pusztulását az érintett erdőrésztben (2. ábra). Azok a száraz koronák, amelyek nem jelentek meg a vizsgált időszak kettős differencia térképein, korábbi időszakokban pusztultak el.



2. ábra: Sopron 199/A erdőrészt NDVI kettős differenciája és károsodott faegyedek.

A második terepi validáció a Sopron 113/G erdőrésztben történt, ahol egy avartűz pusztított. A terepi felmérés során azonosított károsult terület térben jól egybevágt a kettős differencia térképek által jelzett változásokkal (3. ábra). Az állomány már korábban részben felnyílt volt, így az NDVI-csökkenést fák károsodása mellett az aljnövényzet pusztulása is okozta.



3. ábra: Sopron 113/G erdőrészt NDVI kettős differenciája és tűzzel érintett terület.

Következtetések

A tanulmány egy teljesen automatizált, Sentinel-2 adatokra épülő, országos léptékű erdőállapot-monitoring rendszer fejlesztését és első operatív alkalmazásait mutatta be. A rendszer képes rendszeres időközönként felhőmentes kompozitok, NDVI-alapú állapotképek és kettős differencia alapú változásdetektálási rétegek előállítására, valamint ezek hatékony webes publikálására és szakmai rendszerekbe történő integrálására.

A bemutatott példák igazolták, hogy a rendszer alkalmas különböző típusú károsodások térbeli lehatárolására és a potenciálisan problémás területek gyors azonosítására. Bár a módszer részletes statisztikai validációja külön tanulmány keretében történik, a jelen eredmények azt mutatják, hogy az automatizált feldolgozási lánc a gyakorlati erdőgazdálkodás számára releváns, értelmezhető és időben hasznos információkat szolgáltat.

A rendszer egyik fő előnye az automatizáltság, az ismételhetőség és az országos léptékű alkalmazhatóság, amely lehetővé teszi a folyamatos állapotkövetést és a terepi beavatkozások célzott tervezését. Ezáltal a fejlesztés hozzájárulhat a proaktív erdővédelemhez és a klímaváltozás hatásaira való gyorsabb reagáláshoz. A jövőbeni fejlesztések célja a szakmai nyilvántartó rendszerekkel való szorosabb integráció.

Irodalomjegyzék

- BANSKOTA, A. – KAYASTHA, N. – FALKOWSKI, M.J. – WULDER, M.A. – FROESE, R.E. – WHITE, J.C. (2014): Forest monitoring using Landsat time series data: A review. *Canadian Journal of Remote Sensing* 40: 362–384.
- LAŠTOVIČKA, J. – ŠVEC, P. – PALUBA, D. – KOBLIUK, N. – SVOBODA, J. – HLADKÝ, R. – STYCH, P. (2020): Sentinel-2 data in an evaluation of the impact of disturbances on forest vegetation. *Remote Sensing* 12: 1914.
- HUETE, A.R. (2012): Vegetation indices, remote sensing and forest monitoring. *Geography Compass* 6: e2379.
- MODZELEWSKA, A. – STEREŃCZAK, K. – MIERCZYK, M. – MACIUK, S. – BAŁAZY, R. – ZAWILA-NIEDŹWIECKI, T. (2017): Sensitivity of vegetation indices in relation to parameters of Norway spruce stands. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry* 59: 85–98.
- WU, L. – LI, Z. – LIU, X. – ZHU, L. – TANG, Y. – ZHANG, B. – XU, B. – LIU, M. – MENG, Y. – LIU, B. (2020): Multi-type forest change detection using BFAST and monthly Landsat time series for monitoring spatiotemporal dynamics of forests in subtropical wetland. *Remote Sensing* 12: 341.
- JAHROMI, M.N. – NAGHDIZADEGAN JAHROMI, M. – ZOLGHADR-ASLI, B. – POURGHASEMI, H.R. – YAZDANI, A. (2020): Google Earth Engine and its application in forest sciences. In: *Spatial Modeling in Forest Resources Management*. Springer, Cham, Switzerland, 629–649.
- CHEN, S. – WOODCOCK, C.E. – BULLOCK, E.L. – ARÉVALO, P. – TORCHINAVA, P. – PENG, S. – OLOFSSON, P. (2021): Monitoring temperate forest degradation on Google Earth Engine using Landsat time series analysis. *Remote Sensing of Environment* 265: 112648.
- HIRD, J.N. – KARIYEVA, J. – MCDERMID, G.J. (2021): Satellite time series and Google Earth Engine democratize the process of forest-recovery monitoring over large areas. *Remote Sensing* 13: 4745.
- SOMOGYI Z. – KOLTAY A. – MOLNÁR T. – MÓRICZ N. (2018): Forest health monitoring system in Hungary based on MODIS products. Technical Report, TEMRE, Debrecen, Hungary, 2018. május 24. Elérhető: http://www.temre.hu/temre/publikaciok/Somogyi_forest_health_monitoring_2018.pdf
- CZIMBER K. – REKECKI D. – ÁCS N. (2023): Erdővédelmi műholdas monitoring rendszer fejlesztése. In: Abriha-Molnár Vanda Éva (szerk.) *Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában XIV*. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 61–66.
- URL 1: <https://www.globalforestwatch.org> (letöltve: 2026. január 12.)
- URL 2: <https://forestwatch.lup-umwelt.de/> (letöltve: 2026. január 12.)
- URL 3: http://www.nlesk.sk/stales/m_aplikacia_en.html (letöltve: 2026. január 12.)
- URL 4: <https://geoportal.uhul.cz/mapy/MapyDpz.html> (letöltve: 2026. január 12.)

- URL 5: <https://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/?locale=en> (letöltve: 2026. január 12.)
URL 6: <https://kilden.nibio.no/> (letöltve: 2026. január 12.)
URL 7: <http://www.temre.hu/> (letöltve: 2026. január 12.)
URL 7: <https://alfa.topolynx.hu/evelin/> (letöltve: 2026. január 12.)

MICRO-HABITAT SELECTION BY MOUFLON IN THE BAKONY MOUNTAIN REGION

Mouflon mikro-habitat használatának vizsgálata a Bakonyban

MASSANG'W, SAMWELY AXWESO¹; IGNÁCZ KORN²; BALÁZS PÖLÖSKEI²; NORBERT VIZI²;

BENCE GALLAI³, ANDRÁS NÁHLIK^{1,4} AND TAMÁS TARI¹

¹ University of Sopron, Institute of Wildlife Biology and Management

² Bakonyerdő Ltd.

³ University of Sopron, Institute of Geomatics and Civil Engineering

⁴ Sapientia Hungarian University of Transylvania, Department of Life Sciences

nahlkandras@uni.sapientia.ro

Abstract

The study aimed to investigate the micro-habitat use of mouflon in the Bakony Mountains, Hungary. Two female individuals were equipped with GPS collars, and their movements were monitored over one year with hourly position recordings. The study focused on home range size, habitat use, habitat availability, and preferences, with particular emphasis on grassland utilisation. The results indicated that the annual home range of the adult mouflon was 3963 ha, while that of the juvenile was 2801 ha. Forested and wooded habitats dominated habitat use for both individuals, encompassing over 90% of all recorded positions. Open habitats were seasonally important as supplementary habitats, especially during spring and summer. Statistical analyses did not reveal significant differences in grassland use between the two age groups, although juveniles exhibited slightly higher variability in utilisation of open habitat. Among grassland types, „closed grasslands on loamy soils or hilly/mountainous” areas were most frequently used, while „closed grasslands on sandy soils” and „rocky limestone grasslands” were recorded only marginally. The study highlights that mouflon habitat use is strongly associated with forested habitats in the Bakony Mountains.

Kivonat

A vizsgálat célja a muflon mikroélőhely-használatának feltárása volt a Bakony-hegységben, Magyarországon. Két nőivarú egyed GPS-nyakörvvel láttak el, és mozgásukat egy éven keresztül, óránkénti pozíció rögzítéssel követték. A kutatás középpontjában az otthonterület nagysága, az élőhely-használat és preferencia álltak, különös tekintettel a gyepek hasznosítására. Az eredmények szerint a felnőtt muflon éves otthonterülete 3963 ha, míg a fiatal egyedé 2801 ha volt. Mindkét egyed esetében az erdős és fás élőhelyek domináltak. A nyílt élőhelyek szezonálisan, különösen tavasszal és nyáron, kiegészítő élőhelyként játszottak szerepet. A statisztikai elemzések nem mutattak szignifikáns különbséget a gyepek használatában a két korcsoport között, bár a fiatal egyedek esetében kissé nagyobb változékonyság volt megfigyelhető a nyílt élőhelyek használatában. A gyepek típusok közül leggyakrabban a „zárt gyepek vályogtalajon vagy dombos/hegyvidéki területeken” kerültek használatra, míg a „zárt gyepek homoktalajon” és a „sziklás mészkőgyepek” csak elenyésző mértékben bizonyultak használatnak. A vizsgálat rámutat, hogy a muflon élőhely-használatát szorosan kapcsolódik az erdős élőhelyekhez a Bakony-hegységben, de a nyílt élőhelyek használatával szezonálisan számolni kell.

Introduction

The Bakony Mountains, located in western Hungary, form part of the Transdanubian range and provide a heterogeneous landscape of deciduous forests, shrublands, and rocky grasslands. These habitats make them suitable for mouflon (*Ovis musimon*), a non-native ungulate

introduced to Central Europe. While general patterns of mouflon habitat use are documented, fine-scale or microhabitat preferences remain poorly understood, particularly in the Bakony region. This knowledge gap is critical because mouflon populations intersect with both conservation priorities and game management objectives. Their browsing can hinder forest regeneration and damage protected grasslands, yet they are also vulnerable to anthropogenic pressures such as logging, tourism, and infrastructure development (KÁRPÁTI – NÁHLIK 2023).

Understanding microhabitat selection is essential for evidence-based management. Detailed spatial data can inform habitat zoning, trail placement, and forest planning, while anticipating shifts in distribution driven by human disturbance or climate change. Despite the ecological and economic significance of mouflon in Hungary, research on their microhabitat use has been limited. This study addresses that gap by applying GPS telemetry to examine seasonal and spatial variation in mouflon habitat selection in the Bakony Mountains.

Material and methods

The study was conducted in the Bakony Mountains, located in western Hungary within the Transdanubian region (47°10'–47°20' N, 17°40'–18°00' E), covering approximately 4,000 km². The range consists of karstic limestone plateaus, steep valleys, and forested hills, with elevations between 200 and 700 m above sea level. The climate is continental, with annual precipitation of 600–800 mm and a mean temperature of 9 °C. Vegetation is dominated by mixed deciduous forests, primarily European beech (*Fagus sylvatica*), Turkey oak (*Quercus cerris*), and sessile oak (*Quercus petraea*), interspersed with grasslands and rocky outcrops. The research area was located within the Farkasgyepű Forestry Unit of Bakonyerdő Co., near Bakonyjókó, Némethbánya, and Csehbánya. This site was selected for its stable mouflon population, ecological representativeness, and accessibility for fieldwork.

On April 19, 2022, two female mouflons were captured: one adult and one yearling. Capture was performed using a large game trap cage. Animals were immobilised under approved protocols, and physiological monitoring was conducted throughout the procedure in compliance with animal welfare regulations. GPS (Vectronic Aerospace GmbH) collars were fitted during immobilisation. Collars were automatically removed after one year via remote-controlled drop-off mechanisms. Collars recorded one position per hour and transmitted data via GSM communication.

GPS data collected over one year were analysed using QGIS for spatial processing. Home range size was estimated using the Minimum Convex Polygon (MCP) method. Habitat-use analysis employed the Hungarian Ecosystem Base Map. Habitat preference was quantified using Jacobs' index (JACOBS 1974), which corrects for differences in habitat availability. Statistical analyses were performed in PAST 5 (HAMMER ET AL. 2001), applying non-parametric tests to evaluate seasonal variation in home range size and habitat selection.

Results

The yearly home range was 3963 ha for the adult mouflon, while the young mouflon covered 2801 ha in total. Based on the provided monthly chart (*Figure 1*), the highest area values for both young and adult groups occur in February, with the adult area exceeding 3000 ha and the young area being over 2000 ha. The maps showing mouflon positions are available in the supplementary chapter.

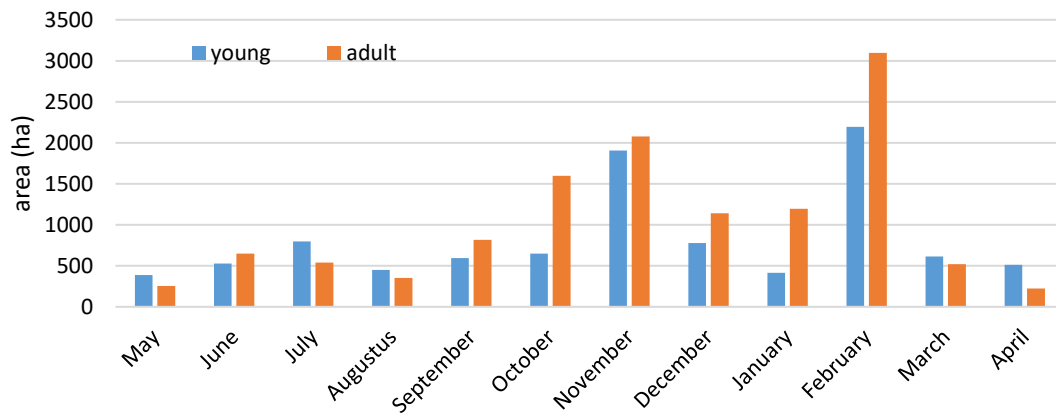


Figure 1.: Monthly home range sizes and distribution of mouflons

The lowest home range for both groups was observed in May and August, with values consistently below 500 ha. For nearly every month, the adult home range was greater than the young home range, except in May, July, August, March, and April, when the young area was slightly higher, by about 50-200 ha. Following a low point in August, both young and adult areas show a general increasing trend that peaks in February, followed by November, while the big differences in home ranges were observed in October. For nearly 1000 ha, with the adult mouflon leading the range. A statistical analysis using the Mann–Whitney U-test ($U = 65$, $z = 0.375$, $p = 0.71$) indicates no statistically significant difference between the young and adult groups, suggesting that the two groups share similar distributions for the variable under test. The analysis of mouflon home-range sizes shows that adults tend to occupy larger monthly home ranges (median = 732.5 ha) than young individuals (median = 603.6 ha).

The habitat use of adult mouflon, as shown in the figure, exhibits distinct spatial and temporal patterns across months (Figure 2).

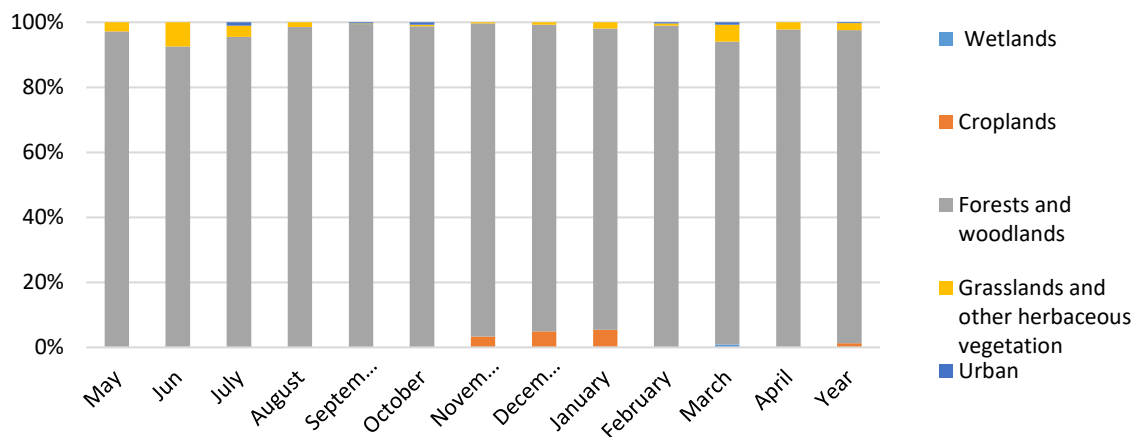


Figure 2.: Habitat use for adult mouflon

The results indicate a clear and consistent dominance of forests and woodlands in adult mouflon habitat use, accounting for more than 90% of all recorded GPS locations throughout the study period. Although forest habitats remain dominant, slight seasonal shifts are observable. June recorded the highest grassland use, while May, July, March and April showed minor consumption in grasslands and other herbaceous vegetation, likely linked to the seasonal growth of herbaceous plants during early summer. Similarly, from November through

February, small proportions of cropland use are evident about around 3–5% of recorded locations. In contrast, the other habitats were minimally used, suggesting limited support for mouflon life.

The bar chart below (*Figure 3*) illustrates the monthly habitat use of young mouflon across various land cover types. Forests and woodlands overwhelmingly dominate mouflon habitat use year-round, accounting for over 90% of observed use.

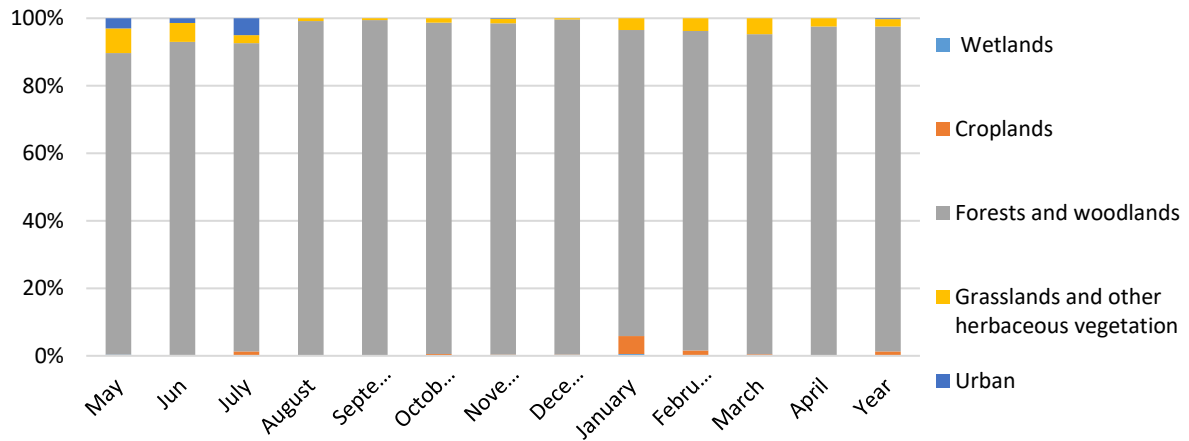


Figure 3.: Habitat use for young mouflon

Grasslands and other herbaceous vegetation contribute a small proportion, appearing mainly in the warmer months (May, June, and January–March). Cropland use appears sporadically, with slight increases in July, October, and January, with the highest recorded use, possibly linked to seasonal foraging opportunities. The overall pattern suggests strong habitat specialisation toward forested environments. Annually, the data confirm that forests and woodlands are the most crucial habitat type for young mouflon, with only minor seasonal shifts toward open habitats.

Based on *Figure 4*, the adult mouflons' monthly habitat preference is strongly dominated by forests and woodlands, mostly in September, October, November and February, with the highest value of 0.8.

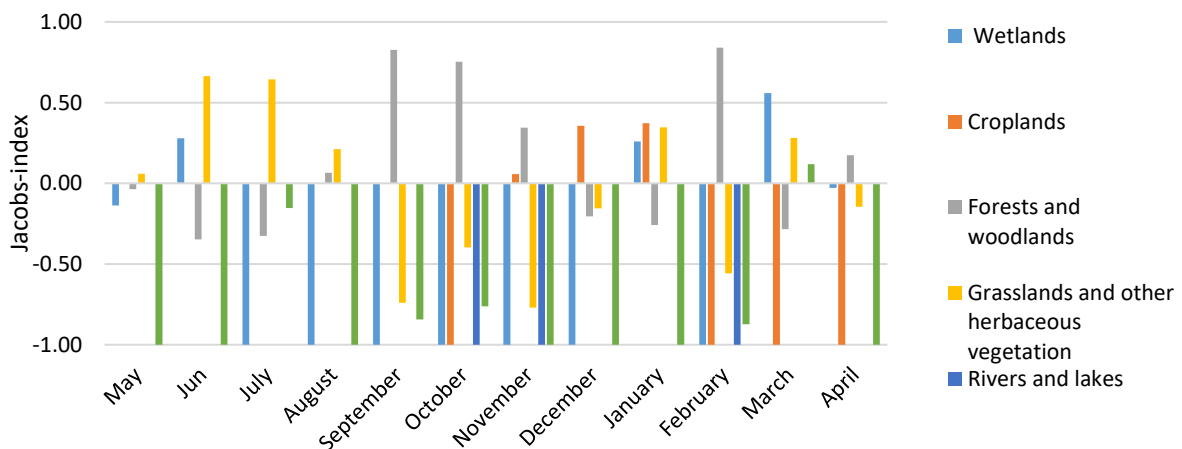


Figure 4.: Habitat preference for adult mouflon (Jacobs Index)

On the other hand, grassland and other herbaceous vegetation were highly preferred for a few months, notably in June and July, with values exceeding 0.6; some minor preferences were observed in August, February, and March. Croplands were favourable in December and January, indicating the winter cereals. Although forest and woodland were preferred in some months, this study shows that in June and July, they were avoided to the greatest extent, with values as low as -0.35, indicating a preference for other habitats. The annual trend in habitat preference shows that forests and woodlands were the most preferred habitats during the year, with a value up to 0.57, suggesting the importance of forestry to the life of adult mouflon.

Based on the monthly data shown in Figure 5, the habitat preference of young mouflon is overwhelmingly forested and woodlands in August-December, with the highest value of more than 0.85 in December, while February and April were also favourable habitats.

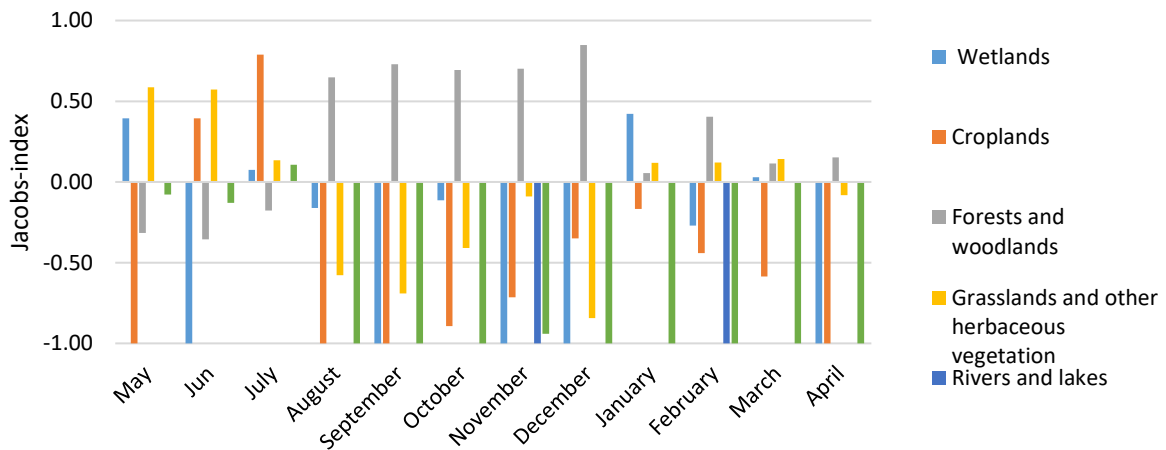


Figure 5.: *Habitat preference for young mouflon*

On the other hand, in May and June, grasslands and other herbaceous vegetation were the most preferred habitats, with minority preferences noted in the January-March period, highlighting their importance during these months. In May and January, the highest preference for wetlands was observed, reaching a peak of 0.4, whereas in July and March, recognition was minimal. In June-July, cropland was recorded as the most preferred habitat. In the general annual habitat preference trend, forest and woodlands are the most preferred habitat type, accounting for more than 0.55.

As observed earlier, grassland areas periodically showed a preference. Accordingly, their use was examined in detail. Based on the *Figure 6*, in case of adult mouflon the habitat is primarily dominated by "Closed grasslands on loamy soils or hilly/mountainous areas," which consistently constitutes the largest portion of the land use throughout every month and on a yearly basis with a mean of 85% making a large coverage of all grassland type with 9% being covered by non classifiable herbaceous vegetation and 5% with rocky limestone grassland.

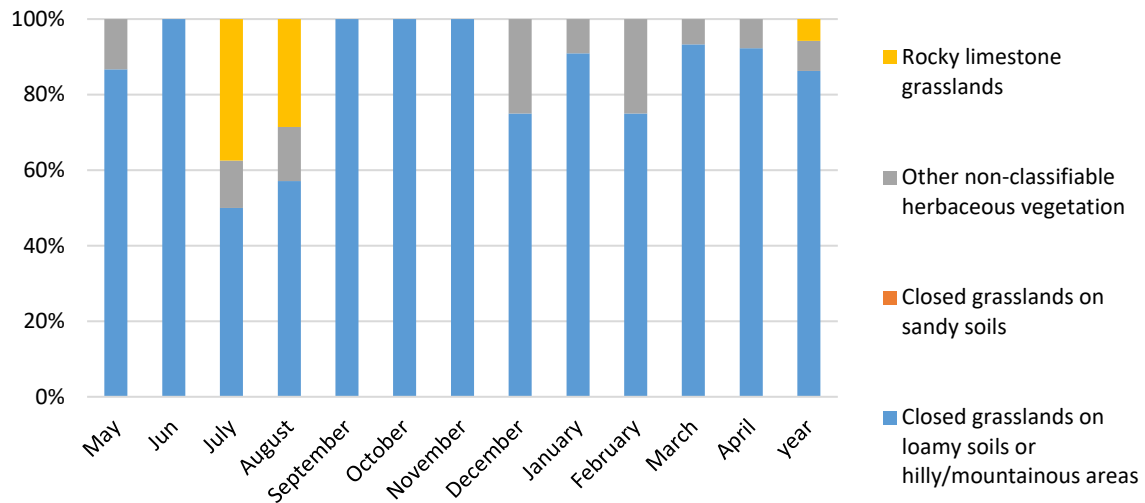


Figure 6.: Grassland habitat use for Adult mouflon

Following further observation June, September and December were the only months in which only closed grassland on loamy soils was consumed by mouflons indicating total reliance on this grass by mouflons whereas "Rocky limestone grasslands" are present only in November while "Closed grasslands on sandy soils" appear only in March, with both of these categories making up a very small fraction of the total habitat. This indicates a clear and consistent year-round presence of the primary grassland types, with other specialised grassland types playing a minor, seasonal role.

The young mouflon used different grassland categories throughout the year (Figure 7). The majority of the habitat shown in the graph is composed of Closed grasslands on loamy soils or hilly/mountainous areas, which are represented by a mean of 84% among all grassland types.

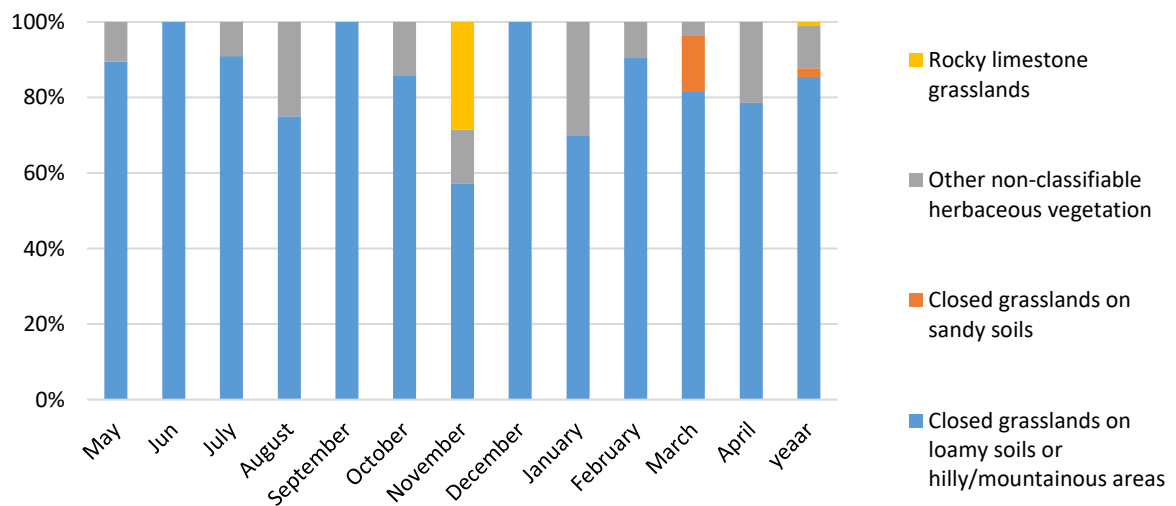


Figure 7.: Grassland use for young mouflon

Another grassland type, Other non-classifiable herbaceous vegetation, is present year-round, accounting for 12%, but it represents a smaller portion of the total habitat. The other two grassland categories, Closed grasslands on sandy soils and Rocky limestone grasslands, are

present in very small amounts and only in certain months, accounting for about 4% of all grasslands. Rocky limestone grasslands appear as a very small sliver in November, with a small percentage of the total. Closed grasslands on sandy soils are visible only in March. The dominance of the "Closed grasslands on loamy soils or hilly/mountainous areas" was fully observed in June, September, and December. This suggests that this is the primary type of open habitat available in the area represented by the graph. Also, November is the month when all three grasslands were used, with the lowest record for the dominant closed grassland on loamy soils, suggesting the animals' mobility in search of forage during this time.

The statistical comparison of the results of non-parametric tests evaluating no significant differences in grassland use between young and adult mouflon (Mann–Whitney U test, $U = 57$, $z = 0.83734$, $p = 0.4024$). Young mouflon exhibit a higher median use of grasslands compared to adults, indicating a greater tendency to utilise open habitats (Figure 8). The range of grassland use among young individuals is wider, suggesting higher variability in their habitat selection. Adults show a more concentrated distribution with lower median values, implying a preference for less frequent or limited use of grasslands. The interquartile range for young mouflon is greater, with some individuals using up to about 7% of the grasslands, whereas adult usage rarely exceeds 5%.

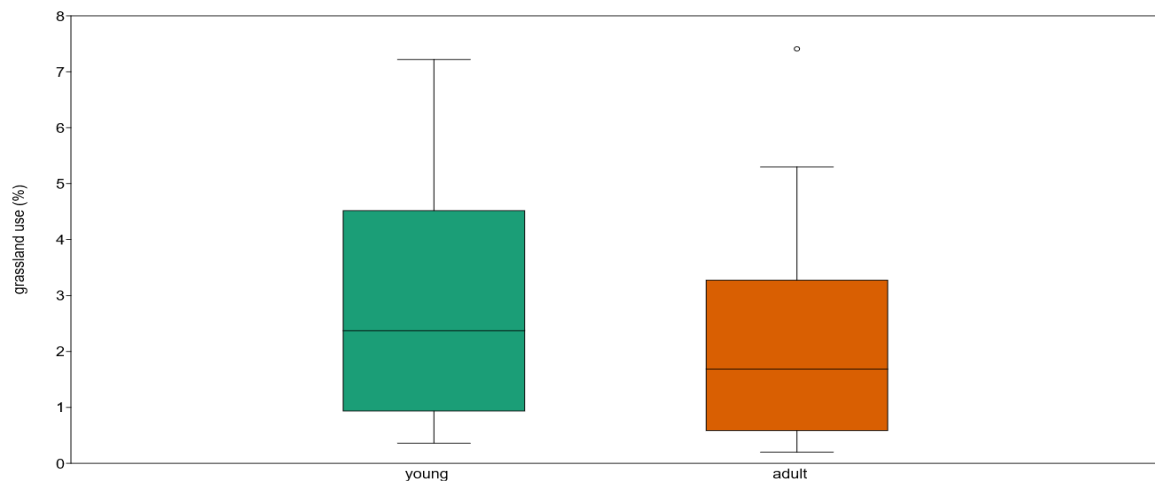


Figure 8.: A grassland habitat use comparison for Mouflons

Discussion

This study's results highlight the predominance of forest and woodland habitats in mouflon space use within the Bakony Mountains, with over 90% of recorded locations occurring in these environments. This contrasts with earlier findings, which reported greater reliance on open ranges (CRANSAC – HEWISON, 1997). The strong association with forests reflects their role in providing cover, thermoregulation, and diverse forage, particularly during periods of climatic stress (BUGALHO ET AL., 2011; SMIT ET AL., 2021). Dense canopy and understory vegetation offer protection from harsh weather.

Although forests dominate, mosaic landscapes comprising grasslands, croplands, and urban edges remain important for seasonal flexibility. These mixed habitats enable mouflons to balance forage quality with safety, especially during energy-demanding periods such as lambing or rut. Cropland use peaked in winter months, likely due to the availability of young vegetation, while grasslands on loamy soils were heavily used in summer and autumn, consistent with their high forage quality and similarity to the species' ancestral Mediterranean habitats (VOLMER ET AL., 2008).

The ecological impact of mouflons is evident in browsing pressure on saplings, particularly beech and oak, which may hinder forest regeneration during winter scarcity (KÁRPÁTI – NÁHLIK 2023, KAMLER – HOMOLKA, 2016). Interactions with other ungulates amplify these effects, while anthropogenic changes—such as agriculture and infrastructure—alter habitat composition and connectivity, influencing movement and survival (FLETCHER ET AL., 2018). Despite minor seasonal differences, no substantial variation was observed between adult and yearling females in habitat preference, both favouring forests and woodlands for over 90% of their activity. In addition to the high degree of forest cover, grasslands and other open habitats provide suitable forage for mouflon (DREMMEL ET AL. 2012)

Overall, these findings underscore the need to maintain a heterogeneous landscape that combines forested areas with open habitats to support mouflon populations while mitigating ecological impacts. Conservation strategies should prioritize connectivity and adaptive management to balance biodiversity goals with game management objectives.

References

- BUGALHO M.N. – MILNE J.A. RACEY P.A. (2011): The foraging ecology of red deer and mouflon in Mediterranean ecosystems. *Journal of Zoology*, 255(1), 15–29.
- CRANSAC N. – HEWISON A.J.M. – GAILLARD J.M. – CUGNASSE J.M. (1997): Seasonal changes in habitat selection and group size of mouflon (*Ovis gmelini*) in the Caroux-Espinouse massif, France. *Journal of Zoology*, 242(2), 229–237.
- DREMMEL L. – TARI T. – SÁNDOR GY. – NÁHLIK A. (2012): Adatok a muflon táplálkozásáról, in: *In: Lakatos, Ferenc; Szabó, Zilia (szerk.) Kari Tudományos Konferencia Kiadvány, p:294-297*
- FLETCHER R.J. JR. – DIDHAM R.K. – BANKS-LEITE C. – BARLOW J. – EWERS R.M. – ROSINDELL J. – HOLT R.D. – GONZALEZ A. – PARDINI R. – DAMSCHEN E.I. – MELO F.P.L. – RIES L. – PREVEDELLO J.A. – TSCHARNTKE T. – LAURANCE W.F. – LOVEJOY T. – HADDAD N.M. (2018): Is habitat fragmentation good for biodiversity? *Biological Conservation*, 226, 9-15.
- HAMMER Ø. – HARPER D.A.T. – RYAN, P.D. (2001): Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.*, 4(1), 9.
- JACOBS J. (1974): Quantitative measurement of food selection, *Oecologia* , 14:413-417.
- KAMLER J. – HOMOLKA M. (2016): The importance of cultivated plants in the diet of red and roe deer and mouflon. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64(3), 813–819.
- KÁRPÁTI T. – NÁHLIK A. (2023): Is the Impact of the European Mouflon on Vegetation Influenced by the Allochthonous Nature of the Species? *Diversity*, 15(6), 778.
- SMIT C.– DÍAZ M. – KUIJPER D.P.J. (2021): Browsing, grazing, and forest regeneration in Europe. *Biological Reviews*, 96(2), 873–888.
- VOLMER K. – HECHT W. – WEIB R. – GRAUHEDING D. (2008): Treatment of foot-rot in free-ranging mouflon (*Ovis gmelini musimon*) populations – does it make sense? *European Journal of Wildlife Research*, 54, 657–665

DOMBORZATMODELL KÉSZÍTÉSE MÜONTOMOGRÁF MÉRÉSEKHEZ A SOPRONBÁNFALVI GEODINAMIKAI OBSZERVATÓRIUMNÁL

Preparation of a Topographic Model for Muontomogram Measurements at the Sopronbánfalva Geodynamic Observatory

BAZSÓ TAMÁS¹, BARBÉLY ENIKŐ², BROLLY GÁBOR¹

¹Soproni Egyetem, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet

² HUN-REN Magyar Kutatási Hálózat, Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet

bazso.tamas@uni-sopron.hu

Kivonat

A szeizmológiai mérések és a földi árapály kutatása céljából létesült Sopronbánfalvi Geodinamikai Obszervatórium (SOPGO) vágatában a HUN-REN Magyar Kutatási Hálózat munkatársai müonok detektálásával tervezik az obszervatórium fölötti hegység tömb sűrűség szerkezetét megvizsgálni. A müontomografikus meghatározáshoz elengedhetetlen egy geometriailag pontos domborzatmodell elkészítése a detektor környezetében. A modell elkészítése összetett feladat, mivel az obszervatórium egy régi kőbányában helyezkedik el, ahol függőleges sziklafalak is nehezítik a felmérést és modellalkotást. A jelen tanulmány egy munkaközi állapotot mutat be, ahol a hagyományos geodéziai eljárás, GNSS mérés, valamint statikus- és mobil lézerszkennelési eljárás ötvözésével fokozatosan készítjük el a különböző felszíni alakzatokhoz igazítva a térképet.

Abstract

At the Sopronbánfalva Geodynamic Observatory (SOPGO), established for the purpose of seismological measurements and terrestrial tidal research, the HUN-REN Hungarian Research Network plans to investigate the density structure of the mountain range above the observatory by detecting muons. For muon tomographic determination, it is essential to prepare a geomatically accurate terrain model in the vicinity of the detector. Preparing the model is a complex task, as the observatory is located in an old quarry, where vertical rock walls also complicate surveying and modelling. This study presents a work in progress, in which we are gradually creating a map adapted to the various surface features by combining traditional geodetic methods, GNSS measurements, and static and mobile laser scanning techniques.

Bevezetés

Az obszervatórium egy régi kőbányában helyezkedik el, ahol a mérőműszereket egy, a sziklafalhoz épített épületben és az épület előteréből a szikla belsejébe induló vágatban helyezték el. A vágat a Soproni-hegység gneisz deformációjában létesített 60 méter hosszú mesterséges vágat, mely 1962-ben készült el (Mentes, 2019). A létesítmény átadására a külső épület (1. ábra) befejezése után, 1968-ban került sor. A múlt században leginkább a szilárd föld árapálya és egyéb geodinamikai folyamatok (tektonikai mozgásvizsgálatok) kutatása volt fókuszban. Kezdetben horizontális ingákkal (Thomaschek-Ellenberger-ingapár, CPI kapacitív horizontális inga), majd ezeket felváltva az 1990-es években graviméterrel (ASKANIA GS-11) regisztráltak. Ebben az időszakban mikrobarográf fejlesztés és egy 22 méter hosszú kvarccsőves extenzométer építése is történt az obszervatóriumban. 2009 óta a radonkoncentrációt is folyamatosan figyelemmel kísérik egy AlphaGUARD típusú radonkoncentrációmérő segítségével, amelyet az extenzométerrel végzett deformációs mérések validálására használt vizsgálatokhoz is alkalmaztak (MENTES, 2012, 2019).

A SOPGO-ban jelenleg is folynak a geodinamikai kutatások. Az extenzométer mellett számos műszer regisztrál. Az obszervatórium 2011 óta egy STS2-es szeizmométernek is otthont nyújt, mely a magyar szeizmológiai hálózat egyik állomása (SOP) is egyben. 2021 óta egy LaCoste&Romberg (LCR G949) árapályrögzítő graviméter és 2023 óta egy Lippmann-féle nanoradián érzékenységű dőlésmérő is folyamatosan regisztrál a Mura-Mürz geodinamikai monitoring hálózat részeként a térség geodinamikai és szeizmo-tektonikai folyamatainak kutatása céljából (BARBÉLY et al., 2025).



1. ábra: Sopronbánfalvi Geodinamikai Obszervatórium külső épülete

Az obszervatórium a HUN-REN Földfizikai- és Űrtudományi Kutatóintézet infrastruktúrája. Különleges környezete és geológiai szerkezete miatt több intézet is érdekelt lett annak felmérésében, így 2025 őszén egy együttműködés indult el a HUN-REN Földfizikai- és Űrtudományi Kutatóintézet (HUN-REN FI) és a Soproni Egyetem (SOE), valamint a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont között.

A müográf detektor telepítése 2025 december elején történt meg. A mérés több hónapig is eltart majd és célja, hogy tomográfia segítségével feltárja a sziklafal belsejében a kőzet inhomogenitásokat, a sűrűség eloszlást és az esetleges repedezettséget. A méréshez egyetlen detektort használnak, amit majd időközönként át kell telepíteni a terület teljes lefedettségének biztosításához. A készítendő terepmodellnek le kell fednie a müográfia zenitszögterományát és a modellt szükséges megtisztítani a növényzettől.

A felmérések motivációi között szerepel az is, hogy a Lippmann-féle dőlésmérések az obszervatórium geometriai kialakításából eredő ún. üreghatásnak vannak kitéve, amelynek modellezéséhez az obszervatórium és környezetének részletes 3D-s modellje szükséges.

Anyag és módszer

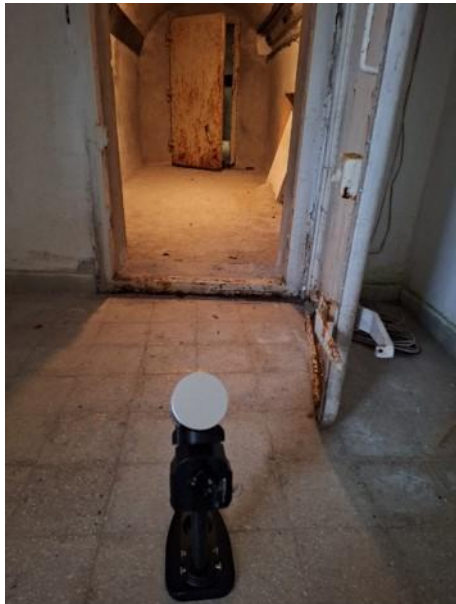
A müontomográfiai mérések kiértékeléséhez tehát elengedhetetlen egy pontos domborzatmodell. A területről elérhetőek különböző modellek (DDM) modellek és felmérések, de egy hosszútávú kutatáshoz célszerűnek találtuk, hogy elkészítsünk egy részletes geodéziai adatgyűjtésből származó eredmények alapján számított modellt. A terület viszonylag kis kiterjedése és terepi változatossága miatt a felmérést elsődlegesen földi adatgyűjtési eljárással terveztük megoldani. A geodéziai felmérését leginkább a terület szabdaltsága nehezíti.

Az obszervatórium egy felhagyott kőfejtő aljában, egy függőleges sziklafal tövében helyezkedik el. Az épület előteréből indul el vízszintesen a vágat a sziklatömb belsejébe. A műonmérések kiértékeléséhez elegendő lenne a szikla falának és a sziklatömb fenti terepszintjének a felmérése, viszont a későbbi felhasználáshoz – megjelenítés, kapcsolódó vizsgálatok – az épület és közvetlen környezetének felmérését is célul tűztük ki.

A geodéziai felmérés szempontjából három részre osztottuk a területet. Az első felmérést földi lézerszkenneléssel végeztük el. Pont-lefedettség szempontjából az obszervatórium és környezete, valamint a függőleges sziklafal felmérése történt meg. A második felmérés az épület belsejében és a vágatban történt, ehhez kézi lézerszkennelést használtunk. Ez a módszer biztosította, hogy a vágatban minél rövidebb ideig kelljen tartózkodnunk. A gyorsaság fontos volt, mivel a geodinamikai mérőeszközök méréseit befolyásolja a kiegyenlítetlen hőmérséklet, valamint a radonsugárzás szempontjából korlátozott a vágatban tartózkodás ideje. A harmadik mérést pedig a sziklafal feletti terepfelszín, a Nádor-magaslat környezetének felmérése jelentette, ahol légi-, esetleg földi lézerszkennelést terveztünk alkalmazni. A terepi bejárás során tapasztalt sűrű növénytakarás (szeder) miatt GNSS méréstechnológia mellett döntöttünk.

Statikus lézerszkennelés (TLS)

A szkennelést egy Leica P40-es műszerrel végeztük el (2. ábra). A terület kiterjedése és a kitakarások miatt 5 műszerállásból végeztük el a felmérést, amihez sokszögelést végeztünk a szkenneléssel. Beillesztett vonalat vezetünk, amelyhez még két alappontot kellett létesítenünk. Az egyik alappont egy radarinterferometrikus méréshez létesített reflektor alappontja volt, a másikat pedig az udvarban található teniszpálya közepén helyeztük el és jelöltük meg betonszeggel. Az alappontok meghatározásához egy Leica GS16 műszert használtunk és műszerlábra rögzítve RTK megoldással, 2 perces méréssel határoztuk meg. A többi alappontot fa cövekekkel és íráskaróval jelöltük. A sokszögelés kivitelezéséhez az összes ponton műszerlábat helyeztünk el és az aktuális műszerálláson kívül, az alappontok fölé Leica jel-tárcsákat (GZT21) rögzítettünk.



2. ábra: A méréshez használt műszerek: Stonex X120GO SLAM és Leica P40

Kézi lézerszkennelés (HMLS)

A szkennelést egy Stonex X120GO SLAM műszerrel végeztük el (2. ábra). A vetületbe illesztéshez a statikus szkennelés során meghatározott alappontokat használtuk fel, illetve az épületen belül két alappontot (7-es, 8-as), amelyeket sokszögeléskor rögzítettünk az épület

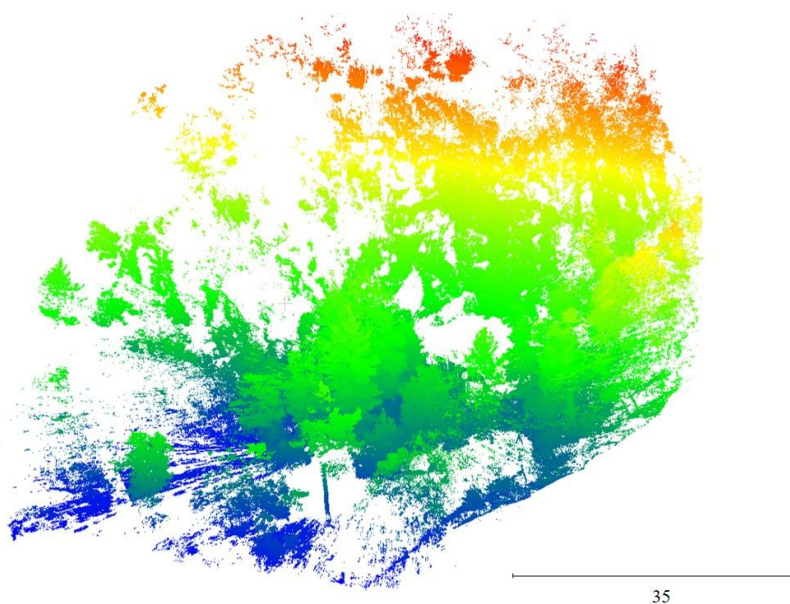
előterében. A szkennelés során a vágat két szélén, vonal mentén mértünk a befelé- és kifelé haladáskor. A mérés során képeket nem rögzítettünk.

GNSS mérés

A felméréshez egy Forgeo PooLee műszert használtunk, illetve tervezzük még használni, mivel a jelen publikáció megírásáig még nem sikerült a terület felmérését elvégezni. A felméréendő területen markáns terepi alakzatok nem jellemzőek, viszonylag kiegyenlített lefutású. A felmérési módszer RTK mérési technológia, azonban a fával sűrűbben borított részekben még nem sikerült megbizonyosodni a mérési módszertan használhatóságáról. A felmérést lombtalan állapotban szükséges elvégezni.

Eredmények

A felmérés eddigi eredménye egy pontfelhő adathalmaz az obszervatórium épületéről és környezetéről, valamint a függőleges sziklafal egy részéről (3.ábra). A pontfelhő elegendő adatot tartalmazott a bányaterület terepszintjének a meghatározásához a kapubejárattól az épületig, valamint az épület megjelenítéséhez. A függőleges sziklafalról azonban nem sikerült kellő sűrűségű pontot detektálni. A sziklafalat eltakaró, illetve a falból növekvő fás szárú növényzet miatt nem érzékelik vissza a szikláról kellő sűrűséggel jel, illetve a sziklafal elkülönítése az azt takaró növényzettől is további nehézségeket okozott.



3. ábra: A TLS felmérés által elkészült pontfelhő magassági eloszlás szerint színezve.

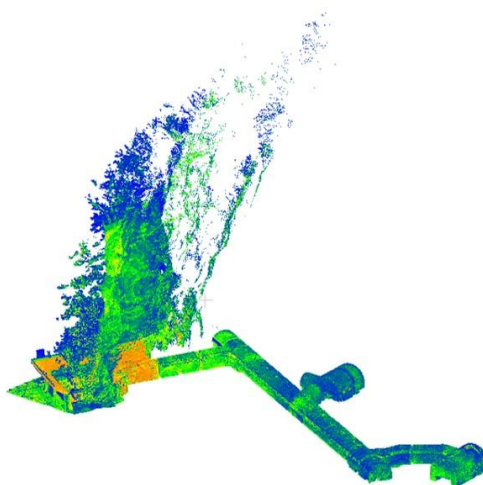
A sokszögmérés alapján lefektettünk egy ponthálózatot a bánya területén, amely a közeli jövőben a térképezési munkálatokhoz megfelelő alapot szolgáltat (1. Táblázat).

1. Táblázat: Alappontok koordinátái

Azonosító	EOVY [m]	EOVX [m]	mBf
1	462971.37	262633.65	246.36
2	462987.61	262626.74	248.15
3	463004.01	262621.74	251.10

4	463006.85	262638.60	252.41
5	463013.64	262645.93	252.34
6	462986.02	262662.80	246.94
7	463020.05	262642.14	252.81
8	463018.64	262639.73	252.87

A Stonex kézi szkennelőről készített pontfelhő (4.ábra) megfelelő alapot szolgáltat a műöntomográfiai mérések feldolgozásához, valamint a további kutatások térképi alapjához. A két szkennelőről felmért állomány összekapcsolható volt, mivel azonos alapponthálózathoz kapcsoltuk a méréseinket.



35

4. ábra: A kézi lézerszkennelőről mért pontfelhő intenzitásképe.

Következtetések

Az eddigiekben elvégzett munkák alapján a terepviszonyokhoz illesztett felmérési módszerek megfelelőségére vonatkozóan tudtuk levonni következtetéseinket.

A szkennelési megoldások alkalmazását megfelelőnek találtuk. A pontfelhő megjelenítése, kiértékelése után, azonban maradtak nem megfelelő pont-lefedettségű területek. Ez elsődlegesen az obszervatórium épületének kitakaró hatása okozta a sziklafalon, amelyet statikus módszernél nem tudunk kiküszöbölni (illetve szélsőséges műszerállásokkal), viszont a mobil eljárással még lehetséges ezt a hatást csökkenteni. Másodsorban a sziklafalon található növényzet és a felső sziklaperem behajlása, távolsága is csökkentette a talaj-, illetve szikláról való visszaverődések számát. Ezt a problémát szintén a kézi szkennelőről tudjuk még javítani.

A kézi szkennelőről mért pontfelhő vetületbe illesztését nem tudtuk automatikusan megoldani, mivel az első és a negyedik illesztőpontnak azonos pontot választottunk. A pontfelhő vetületbe illesztését az alappontokon elhelyezett jeltárcsák alapján tudtuk elvégezni. Itt pedig azt a következtetést kellett levonnunk, hogy a kézi szkennelőről nagyobb figyelmet kell fordítani a jeltárcsák szkennelésékor, mivel kevés pont érkezett vissza a műszerbe. Ez további vizsgálatra vár, hogy a jeltárcsa felülete (Leica gyártmányú jel alkalmazása más gyártó műszerével), vagy maga a szkennelés okozott problémát.

A következőkben még a GNSS mérések befejezése vár ránk, valamint a lézerszkenneléseknél leírtak elvégzése.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a „Fás biomassza termesztési feltételeinek vizsgálata” GINOP-2.3.3-15-2016-00039 projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BARBÉLY E., BENEDEK J., LEONHARDT R., HORN N., SZABÓ CS., MOLNÁR T., CSÁKI D. I., MEURERS B. AND PAPP G. (2025): A Geodynamic Network for the Monitoring of Seismo–Tectonic Activity Along the Mur–Mürz Fault Line (Austria). *Geophysical Observatory Reports*, 2023-2024: 85–110. <https://doi.org/10.55855/gor2025.6>
- MENTES, G. (2012): Observation of local tectonic movements by a quartz-tube extensometer in the Sopronbán-falva Geodynamic Observatory, in Hungary – Validation of extensometric data by tidal analysis and simultaneous radon concentration measurements. *Journal of Geodynamics*, 58: 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.01.004>
- MENTES, G. (2019): A Sopronbánfalvi Geodinamikai Obszervatórium története. *Geodézia és Kartográfia*, 71: 4-13. <https://doi.org/10.30921/GK.71.2019.6.1>

AGRÁRÉLŐHELYEK BONITÁCIÓ-ALAPÚ ÉRTÉKELÉSE A SZÜRKE FOGOLY (*PERDIX PERDIX L.*) BIOAKUSZTIKUS ÉSZLELÉSEI ALAPJÁN

Bonitation-based assessment of arable habitats using bioacoustic detections of the Grey Partridge (*Perdix perdix L.*)

LÁSZLÓ ISTVÁN BEIER¹, SÁNDOR NAGY², FERENC JÁNOSKA³

¹ University of Szeged, Faculty of Agriculture, Institute of Animal Sciences and Wildlife Management

² Chief Game Warden of the Hód-Vad Hunting and Nature Conservation Public Benefit Association

³ University of Sopron, Faculty of Forestry, Institute of Wildlife Management, Hungary
beier.laszlo.istvan@szte.hu

Kivonat

A nagyüzemi mezőgazdaság miatt bekövetkező élőhely degradáció és biodiverzitás a vadgazdálkodás és a természetvédelem számára is jól ismert folyamat. A földön fészkelő madarak állományai európa-szerte drasztikusan megfogyatkoztak. Endemikus fajunk, a szürke fogoly (*Perdix perdix L.*) hazai populációja a korábbi milliós egyedszámról mára néhány ezer egyedre csökkent. Vizsgálatunk célja a faj bioakusztikus lokációinak elemzése kizárólag agrárélőhelyeken, valamint ezen adatok értékelése az élőhelyek bonításának függvényében. A mintaterület jellemzésére a Faragó (1997) által meghatározott bonítási eljárást alkalmaztunk. A mintaterületen az öt kategóriából csak három volt jelen, a többi habitat nem agrár jellegű. Összesen 48 bioakusztikus észlelést rögzítettünk, melyből 16 volt értékelhető, a többi természetes élőhelyre esett. Az észlelések számát az egyes agrárélőhely-típusok területi arányaival vetettük össze. A habitatok területi megoszlása alapján elvárt észlelési gyakoriságokat számoltunk. A megfigyelt és az elvárt értékek összehasonlítására a Pearson-féle khi-négyzet próbát alkalmaztunk. Az eredmények nem mutattak szignifikáns eltérést az elvárt észlelési eloszláshoz képest. Ugyanakkor egyes élőhely-kategóriák esetében eltérő észlelési tendenciák voltak megfigyelhetők.

Abstract

Habitat degradation caused by large-scale agriculture has led to severe declines of ground-nesting bird populations across Europe. The Grey Partridge (*Perdix perdix L.*) has experienced a significant decline in its population. This study analyses bioacoustic detections of the species restricted exclusively to arable habitats and evaluates their distribution in relation to habitat bonitation categories. Habitat quality was assessed using the bonitation system of Faragó (1997), of which three categories were present within the study area. A total of 48 bioacoustic detections were recorded, of which 16 were considered suitable for analysis, while the remaining detections occurred in non-arable, semi-natural habitats. The number of detections was compared with the proportional area coverage of individual arable habitat types. Differences between observed and expected distributions were evaluated using Pearson's chi-square test. No significant deviation from the expected distribution was detected, although trend-level differences were observed among certain habitat categories.

Introduction

Agricultural intensification has been identified as one of the principal drivers of biodiversity loss in Europe's open landscapes, leading to severe declines in populations of farmland birds over the past decades. Farmland bird indices have been widely used to document these long-term declines, with agro-ecosystem simplification, loss of habitat heterogeneity, and agricultural chemicals among the primary pressures (PAIN & PIENKOWSKI 1997, TUCKER & HEATH 1994; KUIJPER et al. 2009). The Grey Partridge (*Perdix perdix L.*), a once-common species in agricultural habitats across the western Palearctic, has shown substantial declines

historically, reflecting broader trends in farmland biodiversity loss (KUIJPER et al. 2009; BIRDLIFE INTERNATIONAL 2016). Habitat loss, reduced food availability due to pesticide use, and changes in field structure have been implicated in its decline.

Bioacoustic monitoring has emerged as an effective tool for surveying bird populations and documenting vocal activity over extended periods with minimal observer bias (ABRAHAMS 2018; BUDKA et al. 2022). Soundscape recording using autonomous recording units (ARUs) can provide standardized data on presence and activity rates of vocal species and may be equally effective as traditional human point-count methods in assessing biodiversity in farmland and meadow habitats (BUDKA et al. 2022). Such methods are increasingly applied to understand how wildlife responds to landscape structure and management practices across agricultural systems.

Despite the growing use of acoustic monitoring in ecological research, its application to habitat quality assessments relative to quantitative habitat evaluations such as bonitation remains limited. Faragó's bonitation system (FARAGÓ 1997) offers a structured approach to rate arable habitat suitability based on management intensity and its potential impact on breeding birds. It has been used in studies of gamebird ecology and habitat relationships in Hungary, including early population and environmental analyses of the Grey Partridge in the "Harka project" (JÁNOSKA 1999). These works highlighted the influence of agricultural landscape structure on the spatial distribution and demography of small game species.

In Hungary, where a large proportion of land is under cultivation, the predominance of agrarian habitats underscores the need for focused assessments of breeding habitat quality for farmland-dependent species. JÁNOSKA (2001) discussed the significance of agricultural landscape features such as shelter belts and field margins in supporting nesting bird populations under intensive farming regimes, noting that habitat structure and management influence avian communities in farmland contexts. Such insights emphasize that only by isolating agrarian habitat types can one begin to assess species-habitat relationships meaningfully within heavily modified landscapes.

This study aims to integrate bioacoustic detection data of the Grey Partridge with spatially explicit habitat bonitation categories to evaluate whether observed vocal activity patterns align with bonitation-based expectations in arable landscapes. The study builds on existing knowledge of farmland bird declines and monitoring approaches, and seeks to test whether simple, area-weighted habitat assessments can reflect spatial patterns of grey partridge detections during the breeding season.

Material and methods

Study area

The study was conducted within an agricultural landscape covering a total extent of approximately 4,000 ha. From this area, only arable habitats were included in the analysis, as the applied habitat bonitation system is explicitly designed for agricultural land use types. Consequently, the effective study area comprised 2,446.74 ha of arable land.

Habitat types and their spatial distribution within the study area were mapped using GIS-based spatial data. Habitat classification and quality assessment followed the five-category bonitation system described by Faragó (1997), which assigns agricultural habitats to discrete suitability categories based on their structural and management characteristics. Within the study area, only bonitation categories 3 (moderate), 4 (favourable), and 5 (very favourable) were present, while non-agricultural habitat types were excluded from the analysis. The spatial extent and distribution of the analysed habitat categories are illustrated in Figure 1.

Bioacoustic survey design

Bioacoustic surveys targeting the Grey Partridge (*Perdix perdix*) were carried out between 6 February 2024 and 4 June 2024. Surveys were conducted along a fixed transect route with a total length of approximately 15 km. All surveys took place during the early morning hours, coinciding with the species' peak vocal activity period.

Playback-based acoustic stimulation was applied using a portable JBL GO loudspeaker with a maximum sound pressure level of approximately 120 dB. Under open-field conditions, the effective detection range of the playback was estimated to be approximately 300 m. During the survey, the vehicle was stopped at intervals of approximately 500 m, as calculated using the Locus GIS Tracker function. At each stopping point, the Grey Partridge call was broadcast for a duration of one minute. The survey route and playback points remained constant throughout the study period to ensure methodological consistency.

Each bioacoustic detection was georeferenced in the field using the Locus GIS mobile application. Detected locations were subsequently assigned to specific agricultural habitat categories based on their spatial position within the habitat map.

Habitat-based expectation model

To evaluate whether bioacoustic detections were distributed among habitat categories in proportion to habitat availability, an expectation model was developed based on habitat area and bonitation-derived weighting factors. For each habitat category, the proportional area was calculated as the ratio of category area to the total analysed arable area.

Bonitation categories were converted into weighting factors reflecting relative habitat suitability. These weighting factors were then applied to the proportional habitat areas to obtain weighted area proportions. Based on these weighted proportions, expected detection frequencies were calculated by scaling them to the total number of recorded bioacoustic detections.

Agricultural habitat delineation and area calculations were based on the Copernicus NHRL 2024 land cover dataset, accessed via the official WMS service (https://raster.lechnerkozpont.hu/server/services/Copernicus/copernicus_NHRL/MapServer/WMSServer).

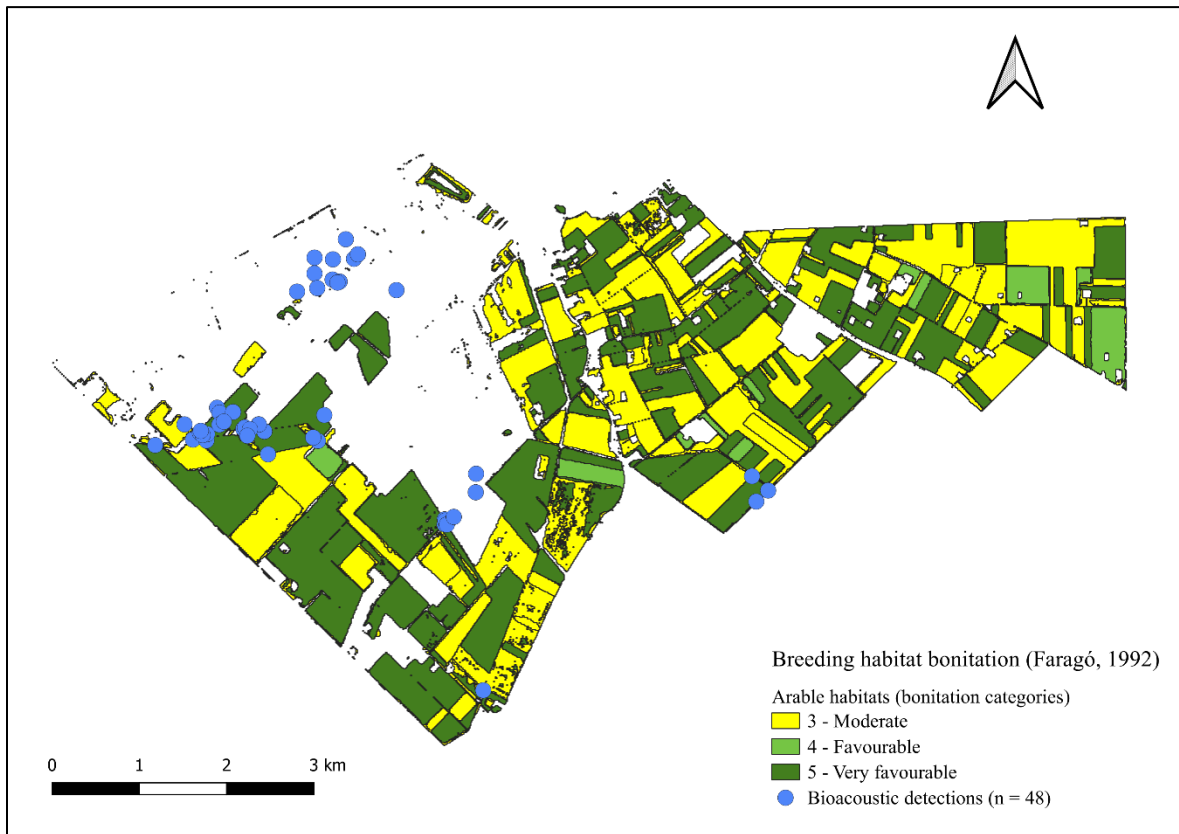
This approach allowed the derivation of habitat-specific expected detection values under the assumption that Grey Partridge occurrences follow habitat availability adjusted for relative habitat quality.

Statistical analysis

Observed detection frequencies were compared with expected detection frequencies using Pearson's chi-square goodness-of-fit test. For each habitat category, chi-square components were calculated as the squared difference between observed and expected values divided by the expected value.

The overall chi-square statistic was obtained by summing category-specific components. Degrees of freedom were determined based on the number of analysed habitat categories. Statistical significance was evaluated at the conventional alpha level of 0.05.

All calculations were performed using spreadsheet-based data processing, ensuring transparency and reproducibility of the analytical workflow.



*Figure 1. Breeding habitat bonitation map of arable landscapes with bioacoustic detections of the Grey Partridge (*Perdix perdix*).*

Arable habitats are classified according to the Faragó (1997) bonitation system, including moderate (3), favourable (4), and very favourable (5) categories. Blue points indicate geo-referenced bioacoustic detections recorded during the survey period. Only agricultural habitats were included in the analysis; non-arable land cover types are excluded.

Results

A total of 48 bioacoustic detections were recorded during the survey. Of these, 16 detections were located within arable habitats and formed the basis of the statistical analysis presented here. Detections recorded in non-arable habitats were not considered, as habitat bonitation was applied exclusively to agricultural land. The spatial distribution, bonitation categories and observed detection numbers of the analysed arable habitat types are summarised in *Table 1*, while the comparison between observed and expected detection frequencies is illustrated in *Figure 2*.

Within the investigated arable area, cereals represented the largest habitat category (49.03%), followed by alfalfa (16.51%), row crops (30.43%) and rapeseed (4.03%). According to the bonitation system developed by Faragó (1997), only bonitation categories 3–5 were present within the study area. Cereals were classified as very favourable (category 5), alfalfa and row crops as moderate (category 3), and rapeseed as favourable (category 4).

Table 1: Bonitation categories, area proportions and observed bioacoustic detections of *Perdix perdix* in arable habitats.

Category	Area (ha)	Bonitation cat.	Proportion (%)	Weighted area (%)	Observed (n)
Cereals	1199,67	Very fav. (5)	49,03	49,03	10
Row crops	744,40	Moderate (3)	30,43	15,22	2
Alfalfa	403,99	Moderate (3)	16,51	8,26	4
Rapeseed	98,68	Favourable (4)	4,03	3,02	0
Total	2446,74		100	75,52	16

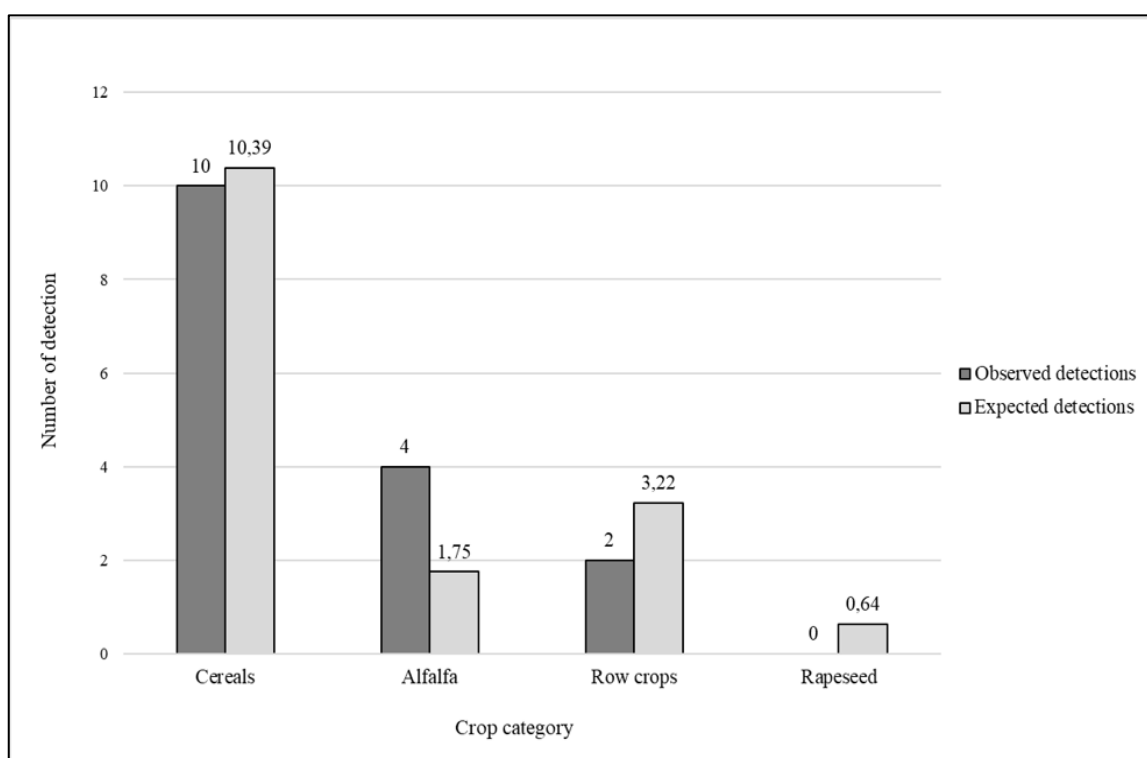


Figure 2. Comparison of observed and expected bioacoustic detections of the Grey Partridge (*Perdix perdix*) across arable habitat categories. Expected values were calculated based on bonitation-weighted area proportions.

Based on the proportional area and bonitation-weighted contribution of each habitat type, expected detection frequencies were calculated assuming a proportional distribution of detections across arable habitats (total agrarian detections: $n = 16$). The observed detections showed partial deviations from these expectations (Figure 2). Cereals exhibited a slightly lower number of detections than expected, whereas alfalfa showed a higher observed frequency. In row crops, the observed number of detections was lower than the expected value, while no detections were recorded in rapeseed fields.

To statistically evaluate the differences between observed and expected detection frequencies, a Pearson's chi-square (χ^2) test was applied. The test statistic was calculated using the following formula:

$$\chi^2 = \sum ((O_i - E_i)^2 \div E_i)$$

where

- O_i represents the number of observed detections in habitat category i ,
- E_i represents the expected number of detections in habitat category i , calculated from the bonitation-weighted area proportions.

The sum of the category-specific chi-square components resulted in a total value of $\chi^2 = 4.02$. The test was conducted with three degrees of freedom ($df = 3$), corresponding to the number of habitat categories minus one. The associated p-value was $p = 0.26$, which did not reach the conventional level of statistical significance ($\alpha = 0.05$).

Overall, the distribution of bioacoustic detections did not differ significantly from the expected distribution based on habitat area and bonitation characteristics. Nevertheless, habitat-specific trends in detection frequencies were apparent, particularly in alfalfa and row crop habitats, suggesting subtle differences in habitat use by the Grey Partridge within arable landscapes.

Discussion

The present study evaluated the relationship between Grey Partridge bioacoustic detections and habitat bonitation categories within arable landscapes. The results indicate that the observed distribution of detections did not significantly differ from the expected distribution based on habitat area and bonitation-weighted proportions. However, the absence of statistical significance does not exclude the existence of ecological relationships between habitat quality and partridge occurrence.

Habitat bonitation, as applied in this study following FARAGÓ (1997), is a composite assessment method that integrates structural characteristics and land-use intensity of agricultural habitats. Importantly, bonitation does not solely reflect the intrinsic ecological suitability of a habitat but also incorporates the effects of anthropogenic disturbance. This distinction is particularly relevant in intensively managed agricultural systems.

In the present study area, only bonitation categories 3–5 were represented, reflecting the dominance of arable habitats. Alfalfa, although often considered one of the most favourable habitats for ground-nesting farmland birds from an ecological perspective, was classified as moderate within the bonitation framework. This reflects the high frequency of agricultural interventions, such as mowing and harvesting, which substantially increase nest loss and mortality risk. Consequently, bonitation values capture not only habitat structure but also management-related pressures affecting breeding success.

The observed detection patterns showed habitat-specific tendencies, particularly in alfalfa and row crops, suggesting that Grey Partridges may respond to fine-scale habitat features not fully captured by area-based expectations alone. Nevertheless, the limited sample size and the relatively small number of habitat categories restrict the strength of inference that can be drawn.

Overall, the results do not contradict the conceptual framework of habitat bonitation as an indicator of habitat suitability for Grey Partridges. At the same time, they highlight the need for higher-resolution spatial data and larger sample sizes to better disentangle habitat preference, detectability and management effects. Future studies integrating bioacoustic monitoring with detailed habitat structure and land-use data may provide a more precise understanding of habitat use by the species in intensively cultivated landscapes.

Acknowledgement

The authors express their sincere gratitude to Dr. Gábor Pataricza, President of the Hód-Vad Hunting and Nature Conservation Public Benefit Association, and to Péter Pál Hajas for their assistance in providing technical equipment and logistical support during the fieldwork. The authors also acknowledge the institutional support of the University of Sopron.

References

- ABRAHAMS, C. (2018): Bird bioacoustic surveys – developing a standard protocol. ResearchGate.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL (2016): *Perdix perdix*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- BUDKA, M. – ET AL. (2022): The utility of passive acoustic monitoring for using birds as indicators of sustainable agricultural management practices. *Frontiers in Bird Science*.
- DONALD, P. F. – GREEN, R. E. – HEATH, M. F. (2001): Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proceedings of the Royal Society B* 268: 25–29.
- FARAGÓ, S. (1997): Élőhelyfejlesztés az apróvad-gazdálkodásban. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- JÁNOSKA, F. (1999): A Harka Project fogoly (*Perdix perdix*) populációjának és környezetének vizsgálata, 1993-1997 Magyar Apróvad Közlemények 4: 45–58.
- JÁNOSKA, F. (2001): Mezővédő erdősávok fészkelő madárállományainak vizsgálata I. Magyar Apróvad Közlemények 6: 163–174.
- KUIJPER, D. P. J. – OOSTERVELD, E. – WYMENGA, E. (2009): Decline and potential recovery of the European Grey Partridge (*Perdix perdix*) population – a review. *Acta Ornithologica* 44: 75–88.
- PAIN, D. J. – PIENKOWSKI, M. W. (1997): Farming and birds in Europe: the common agricultural policy and its implications for bird conservation. Academic Press, London.
- TUCKER, G. M. – HEATH, M. F. (1994): Birds in Europe: their conservation status. BirdLife International, Cambridge.

A REKOMBINÁNS MYXOMA VÍRUS (HA-MYXV) AKTUÁLIS JÁRVÁNYÜGYI HELYZETE MAGYARORSZÁGON

The current epidemiological situation of recombinant myxoma virus (HA-MYXV) in Hungary

BENDE, A.,¹ HEGYI-NÁNDORI, A.² LÁSZLÓ, R.,¹ MARSAI, M.³, ÖRKÉNYI, A.,² MALIK, P.,² JÁNOSKA, F.,¹ & BÁNÁTI, L.^{1,4}

¹Soproni Egyetem, Vadgazdálkodási és Vadbiológiai Intézet, 9400 Sopron, Bajcsy Zsilinszky u. 4.

²Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Állategészségügyi Diagnosztikai Laboratórium Igazgatóság, Virologia Osztály, 1143 Budapest, Tábornok u. 2

³Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Állategészségügyi Laboratórium Igazgatóság, Kórbonctani Osztály, 1143 Budapest, Tábornok u. 2.

⁴Állatorvosi Centrum Kft., 9400 Sopron, Balfi út 143
bende.attila@uni-sopron.hu

Kivonat

Kutatásunk célja a myxoma vírus (ha-MYXV) megjelenésének és terjedésének vizsgálata volt a mezei nyúl (*Lepus europaeus*) magyarországi állományában. A járvány kezdeti szakaszában, 2025-ös év októberében begyűjtött 37 minta PCR-alapú genetikai elemzése során az esetek 89,2%-ában azonosítottuk a rekombináns myxoma vírus DNS-ét. Ezek az eredmények a mezei nyúl első, dokumentált, ha-MYXV típusú járványos megbetegedéseit jelentik Magyarországon. A *Lagomorpha* fajokat érintő rekombináns MYXV vírus feltehetően a Bécs (Ausztria) térségében kitört járvány következtében jutott be Nyugat-Magyarországra, majd kevesebb mint egy héten belül az ország keleti régióiban is megjelent. A kezdeti hazai tapasztalatok alapján az új vírustörzs számottevő hatást gyakorol a hazai mezei nyúlpopulációkra, ami az ország több térségében a faj gazdaságosan fenntartható hasznosításának lehetőségét is kétségessé teszi.

Abstract

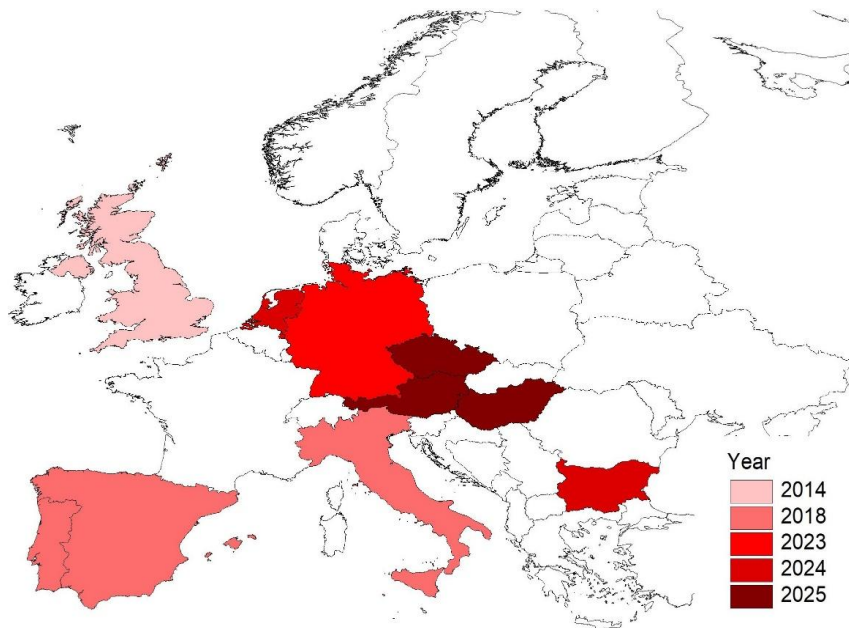
We investigated the emergence and spread of the myxoma virus (ha-MYXV) in the brown hare (*Lepus europaeus*) population in Hungary. During PCR genetic analysis of 37 samples collected between October 7 and 21, 2025, at the beginning of the outbreak, we found recombinant myxoma virus DNA in 89.2% of the samples, which are the first known ha-MYXV type epidemic infections in brown hares in Hungary. The recombinant MYXV virus infecting *Lagomorpha* species first entered western Hungary as a result of an outbreak near Vienna (Austria), and then appeared in the eastern part of the country within a week. Based on initial observations, the new viral strain is already having a significant impact on populations of the European brown hare in Hungary, thereby calling into question the feasibility of economically viable game management of the species in certain regions of the country.

Bevezetés

A mezei nyúl állományai az elmúlt évtizedekben drasztikusan csökkentek Magyarországon. Az 1960-as évekhez képest mára mintegy harmadára redukálódott a populáció, ennek ellenére e faj vadgazdálkodásban betöltött szerepe ma is jelentős (SZABÓ 2022, BÁNÁTI *et al.* 2024, CSÁNYI *et al.* 2025, KELEMEN *et al.* 2005). A 2024/2025-ös vadászati évben e faj hasznosítása összesen 157 441 pld. volt, amiből 127 938 mezei nyúl került terítékre és 29 500 példányt fogtak be (CSÁNYI *et al.* 2025). A befogott egyedeket pedig jellemzően külföldre (Olaszországba, Franciaországba és Horvátországba) exportálták (FARKAS & MAJZINGER 2007). Az állománycsökkenést alapvetően meghatározó tényező az

agrárkörnyezet drasztikus átalakulása, az 1940-es évek végétől kiépülő intenzív, nagytáblás mezőgazdaság, amely a mezei nyúl optimális jellemzőkkel bíró életterét jelentősen leszűkítette (KOVÁCS & HELTAY 1993). A negatívabb scenáriók szerint a mezei nyúl állomány jövőbeli alakulásának trendje jelenlegi tendenciák mellett hamarosan az ország egyre több területén a kritikus 4 egyed / 100 ha-os állománysűrűsége csökken, aminél a fenntartható vadászati hasznosítás már aligha képzelhető el (BÁNÁTI *et al.* 2024). Az állománycsökkenés háttérében az élőhelyek jelentős átalakulása és az élőhelyvesztés mellett a dúvadgyérités hiánya (BIRÓ *et al.* 2014), az időjárási tényezők változása (RÖDEL *et al.* 2012), a növényvédőszeres fokozott használata (BEUKOVIC *et al.* 2017, 2018, MEZEI *et al.* 2018), a gépjárművel való ütközésekből fakadó elhullások megnövekedése (MAYER 2023), valamint számos fertőző betegség megjelenése (LE GALL-RECULE *et al.* 2011, GAVIER-WIDEN & MÖRNER 1991, SUGÁR 2000) áll, amelyek közül egy új, drasztikus mértékű elhullásokat okozó betegség megjelenése komolyan veszélyezteti a magyarországi mezei nyúl állományt.

A MYXV-t 1896-ban Uruguayban írták le, amely ekkor csak az *Oryctolagus* fajokban okozott számottevő veszteségeket, illetve a dél-amerikai erdei nyúl (*Sylvilagus brasiliensis*) esetében írtak le szubklinikai tüneteket, jól körülhatárolt bőrfibrómákat (FENNE & RATCLIFFE 1965, FENNER & FANTINI 1999, BEST & KERR 2000). Európába először Franciaországba hozták be a vírust 1952-ben azzal a céllal, hogy visszaszorítsák az akkortájt jelentősen túlszaporodott üregi nyúl állományt (FENNER & FANTINI 1999), majd a kórokozó endémiássá vált Európa-szerte (WIBBELT & FRÖLICH 2005, VIL-LAFUERTE *et al.* 2017). Magyarországon először 1959-ben mutatták ki (Vetési, 1990) Ugyan az 1930-as években Ausztráliában végzett mesterséges oltási kísérletek során BULL és DICKINSON (1937) nem találtak beteg egyedeket, de a következő évtizedekben a szerológiai eredmények megerősítették Franciaországban (LUCAS *et al.* 1953, MAGALLON & BAZIN 1953, JACOTOT *et al.* 1954), Írországban (WHITTY 1955, COLLINS 1955), Nagy-Britanniában (BARLOW *et al.* 2014) és Olaszországban (ROSSINI *et al.* 2014) is, hogy a MYXV alkalmanként fertőzheti a *Lepus* fajokat is. Több mint ötven éve van jelen Európában ez az ektoparaziták – különösen a szúnyogok – által terjesztett endémiás megbetegedést okozó vírus (BERTAGNOLI & MARCHANDEAU 2015), de járványos megbetegedéseket ez idáig még nem regisztráltak a mezei nyulakban (SAARI *et al.* 2005, BARLOW *et al.* 2014, CARDOSO *et al.* 2025). A MYXV első mezei nyúl (*Lepus granatensis*) állományban megjelenő járványos kitörését Spanyolországban, az Ibériai félszigeten írták le 2018-ban (GARCÍA-BOCANEGRA *et al.* 2019), majd megjelent Portugáliában (CARDOSO *et al.* 2024), 2023-ban pedig Németország, 2024-ben Hollandia több tartományában (DWHC 2025, FISCHER *et al.* 2025) is. Ez az *Oryctolagus* és *Lepus* genusba tartozó fajok közötti átvitel egy rekombináns myxoma vírustörzs, a ha-MYXV megjelenésének eredménye volt (CARDOSO *et al.* 2024). Az új vírus 2024-ben elérte Bulgáriát (MANEV & GENOVA 2024), majd 2025-ben Ausztriát (AUER 2025), Csehországot (KOUBA 2025, MAJER 2025) és Ausztria felől Magyarországot (**1. ábra**) is, új kihívás elé állítva ezzel a magyar vadgazdálkodási ágazatot és az állategészségügyért felelős szervezeteket.



1. ábra: A mezei nyulakat is megbetegítő ha-MYXV vírustörzs időbeli megjelenése Európában.

Anyag és módszer

A mintagyűjtést 2025 október 7. és október 21. között végeztük Magyarországon, a mezei nyulak szempontjából kiemelt jelentőségű élőhelyeken a Kis- (Győr-Moson-Sopron vármegye) és a Nagyalföldön (Jász-Nagykun-Szolnok, Békés, Csongrád-Csanád, Hajdú-Bihar vármegye), ahol számottevő mezei nyúl elhullást tapasztaltak. A mintákat részben passzív módon (1 pld.) – vagyis a kadáverek összegyűjtése révén – valamint a vadászati idényben (október 1 – december 31., 79/2004. (V. 4.) FVM rendelet) történő elejtések során (15 pld.) gyűjtöttük. A vizsgált minták azon részénél ($n = 21$), amelyet a vadászatra jogosultak küldtek be, a mintavétel módja nem ismert. Mivel 2024-ben Magyarországon, mintegy 127 900 mezei nyúl került terítékre (CSÁNYI *et al.* 2025), így a mintavételi lehetőség nem korlátozott, de szükségszerűen azokra a területekre koncentráltunk, ahol a járvány gyanúja felmerült. A mintavétel helyét a mintavétel szerinti községhatárok segítségével adtuk meg. A lokalizáció mellett az általunk gyűjtött egyedek esetében ($n = 16$) rögzítettük az egyedek ivarát, korát és a rajtuk makroszkóposan látható elváltozásokat is. A kormeghatározás a PEPIN (1973) által közölt módon, vagyis a radius extremitas distalis medialis felszínén lévő epiphysis porc dudorának kitapintása révén történt. A porcos dudor 8–9 hónapos korig jól érzékelhető, ezt követően viszont már nem kitapintható (BROEKHUIZEN ÉS MAASKAMP, 1981). Előbbi egyedek a 9 hónapnál fiatalabb (I. juv.), utóbbiak pedig a 9 hónapnál idősebb (II. ad.) korcsoport (PEPIN 1973, BROEKHUIZEN & MAASKAMP 1981).

Az érintett vadászterületekről származó mezei nyulakat ($n = 37$) a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Állategészségügyi Diagnosztikai Laboratórium Igazgatóság Kórbonctani és Virologiai Osztályának laboratóriumaiban vizsgáltuk. Minden egyed esetében kórbonctani vizsgálatot végeztünk. A fertőző myxoma vírus gyors kimutatása, valamint a klasszikus MYXV és a ha-MYXV törzsek megkülönböztetése érdekében ABADE DOS SANTOS és munkatársai (2022) által kifejlesztett real-time multiplex PCR rendszert alkalmaztunk. A rendszer egyidőben képes a *m000.5L/R* duplikált gén, az *m009L* gén és az *m060L* gén bizonyos szakaszainak amplifikációjára, és ezáltal képes differenciálni a két törzs között.

Eredmények

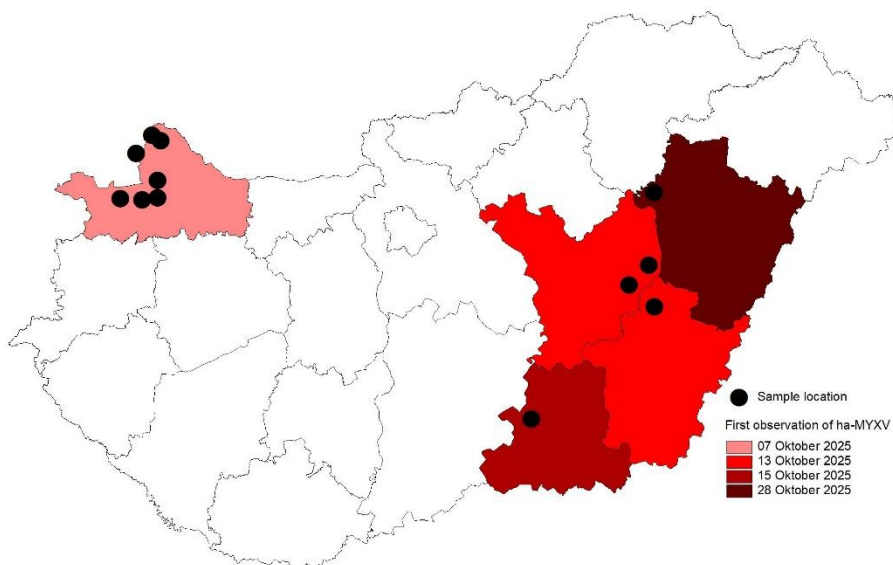
A patológiai vizsgálatok során a myxomatosis fertőzésre jellemző, tipikus noduláris – dermatitisszel jelentkező ödémás – elváltozásokat tapasztaltunk a fejen, szem (duzzanat és kötőhártyagyulladás) és az orr körül, valamint a lábakon, továbbá az anogenitális régióban, ami megfelel a poxvirus-fertőzéssel jellemezhető tünetegyüttesnek (**2. ábra**). A kötőhártyagyuladást az erős könnyezés és a szem körüli markáns myxödémiás duzzanat kíséri, ami a végső stádiumban az állatok vakságát eredményezheti. Ezek mellett pangás tapasztalható a tüdőben, enyhe tüdővérzés és alveoláris ödéma is látható. Mindezek a klasszikus myxomatosis esetében is tipikus tünetek. Kondícióvesztést tapasztaltunk a Nyugat-Magyarországról származó minták (n = 11) esetében, mivel a fertőzött egyedek testtömegértékeinek átlaga az adult korosztályra szűkített mintában a korábbi évek azonos területéről származó adult almintájának átlagánál (4265 g SD = 360,2 g, BÁNÁTI *et al.*, 2024) 743,7 g-al volt alacsonyabb.



2. ábra: Myxomatosis által okozott tipikus elváltozások mezei nyúl fején

Összesen 37 begyűjtött egyed került megmintázásra és letesztelésre a multiplex PCR rendszerrel. A teszttel azon mintákat tekintettük pozitívnak, melyek specifikus, szigmoid alakú amplifikációs görbéje az adott csatornán a 40. ciklus előtt átlépte a beállított határértéket, míg minden olyan mintát, amely nem rendelkezett Cq értékkel (quantification cycle), negatívként értelmeztünk. A tesztek során két egyed kivételével a további 33 minta esetében specifikus amplifikációs görbét tapasztaltunk a FAM (m00.5L/R gén), valamint a HEX (m060L gén) csatornán egyaránt, míg a Cy5 (m009L gén) csatornán minden minta negatív eredményt adott. Az eredmények egybehangzóak és kiértékelésükkor láthatjuk, hogy a pozitív minták mindegyikéből rekombináns myxoma vírust (ha-MYXV) tudtunk kimutatni. Minden PCR futás során a pozitív kontroll Cq értéke nem haladta meg a 25-öt, a negatív kontroll pedig egyik esetben sem lépte át a beállított határértéket, így a futások mindegyike megfelelőnek tekinthető.

Az első Nyugat-Magyarországon regisztrált pozitív minta megkerülési ideje (2025. október 7.) és az ország keleti, délkeleti régiójában igazolt ha-MYXV fertőzés (2025. október 13.) között alig egy hét telt el (**3. ábra**). A terjedés ütemét és területi mintázatát figyelembe véve a vírus további felbukkanására az ország bármely területén számíthatunk.



2. ábra: A rekombináns ha-MYXV vírus igazolt esetei Magyarországon

Következtetések

A mezei nyulakon általunk tapasztalt makroszkópos és szövettani elváltozások megfelelnek a ha-MYXV kapcsán a nemzetközi szakirodalomban közölteknek (BEST & KERR 2000, BERTAGNOLI & MARCHANDEAU 2015, BARLOW *et al.* 2014, GARCÍA-BOCANEGRA *et al.* 2019, AUER 2025, CARDOSO *et al.* 2025, FISCHER *et al.* 2025, MAJER 2025). A ha-MYXV fertőzés jellemzően akut vagy hiperakut myxomatózist eredményez, amit az általunk tapasztalt jelentős kondícióvesztés is megerősít.

A betegség terjedésének európai mintázata sugárirányú és északkelet felé mutató (FISCHER 2025). A magyarországi ismert fertőzések tér- és időbeli mintázata alapján vélelmezzük, hogy Ausztria felől érte el a vírus az országot, ugyanakkor a Nyugat- és Kelet-Magyarországon tapasztalt megjelenés rövid időbeli megjelenése az ízeltlábú vektorokkal önmagában nem magyarázható. Eredményeink alátámasztják FISCHER (2025) azon megállapítását, miszerint az antropogén eredetű kórokozó-továbbítás a közvetlen kontakt – azaz az állatról állatra történő terjedés – és rovarok (beleértve a szúnyogokat is) mellett a vírus terjedésének egyik fontos tényezője. Több tanulmány utal az ízeltlábú vektorok kiemelt szerepére, amit a késő nyári járványkitörések megerősíteni látszanak (ABADE DOS SANTOS 2020, FISCHER 2025).

Továbbra is nyitott kérdés, hogy milyen mértékű következménye lesz a mezei nyúl populációira az új vírustörzs megjelenésének. Egyelőre ugyanis nem ismert Magyarországon a morbiditás és a mortalitás mértéke, ahogy az sem, hogy milyenek a túlélési arányok. Az új betegség minél jobb megismerése érdekében szükségesnek tartjuk egy országos, széles körű, időben és térben konzisztens monitoring rendszer kidolgozását, ami segíti az új ha-MYXV dinamikájának, cirkulációjának, epidemiológiai jellemzőinek jobb megértését a mezei nyúl hazai populációi esetében, ugyanis a járványügyi intézkedések csak ezen jellemzők ismeretében lehetnek hatékonyak.

Köszönetnyilvánítás

E tanulmány alapját képező kutatás a Soproni Egyetem Vadgazdálkodási és Vadbiológiai Intézetének, valamint a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Állategészségügyi Diagnosztikai Laboratórium Igazgatóság, Virologiai Osztályának és Kórbonctani Osztályának együttműködésével valósult meg.

Irodalomjegyzék

- ABADE DOS SANTOS F.A., – DALTON K.P. – CARVALHO C.L. – CASERO M. – ALVAREZ' A.L. – PARRA F. – DUARTE M.D. (2022): Co-infection by classic MYXV and ha-MYXV in Iberian hare (*Lepus granatensis*) and European wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus algirus*). *Transbound. Emerg. Dis.* 69, 1684–1690. DOI: 10.1111/tbed.14540
- ABADE DOS SANTOS FA. – CARVALHO C. L. – PINTO A. – RAI R. – MONTEIRO M. – CARVALHO P. – MENDONCA P. – PELETEIRO M.C. – PARRA F. – DUARTE M.D. (2020): Detection of recombinant hare myxoma virus in wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus algirus*). *Viruses* 12:1127. DOI: 10.3390/v12101127
- AUER A. (2025): First outbreak of emerging ha-MYXV-associated myxomatosis in European hare (*Lepus europaeus*) in Austria. 7th International Conference of the European College of Veterinary Microbiology (ECVM). Oral presentation abstract. <https://evis.events/event/524/papers/5128/files/3323-abstract2864.pdf> Letöltés ideje: 2025.10.19.
- BÁNÁTI L. – FEKETE I. – BENDE, A. (2024): A mezei nyúl (*Lepus europaeus* P.) szaporodásbiológiai mutatóinak vizsgálata kis- és nagyalföldi populációk esetén – An examination of the reproductive biology of the European Brown Hare (*Lepus europaeus* P.) populations in the Little and in the Great Hungarian Plain. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 146: 547–564. DOI:10.56385/magallorv.2024.09.547-564
- BARLOW A. – LAWRENCE K. – EVEREST D. – DASTJERDI A. – FINNEGAN C. – STEINBACH, F. (2014): Confirmation of myxomatosis in a European brown hare in Great Britain. *Veterinary Record* 175: 75–76. DOI: 10.1136/vr.g4621
- BERTAGNOLI S. – MARCHANDEAU, S. (2015): La myxomatose. *OIE Revue Scientifique et Technique* 34: 539–556. DOI: 10.20506/rst.34.2.2378.
- BEST S. M. – KERR P. J. (2000): Coevolution of host and virus: the pathogenesis of virulent and attenuated strains of myxoma virus in resistant and susceptible European rabbits. *Virology* 267(1): 36–48. <https://doi.org/10.1006/viro.1999.0104>
- BEUKOVIC M. – BEUKOVIC D. – BURSIC V. – KRISTOVIC S. – JAJIC I. – POPOVIC Z. – LAVADINOVIC V. (2017): The presence of pesticides in the fatty tissue of Brown hare (*Lepus europaeus* Pall.) Pilot test in one hunting ground of Bačka territory. In: Sustainable Forestry: Fact or Fiction? International Scientific Conference. 4–6. October 2017. Skopje. eds. NAJDOVSKI, B., SIMOVSKI, B. & GJENCHEVSKI, D. 2017. Cyril and Methodius University, 37.
- BEUKOVIC D. – POPVIC Z. – BEUKOVIC M. – BURSIC V. – DORDEVIC N. – KRISTOVIC S. – JAJIC I. – LAVADINOVIC V. (2018): The pesticide in Brown hare adipose tissue as consequence of anthropogenic factors. In: Proceedings International Symposium on Animal Science (ISAS). 22–23. November. 2018. Zemun, Belgrade. eds. Popovic Z, Miljus M, 2018. University of Belgrade, 6–74.
- BIRÓ ZS. – SZEMETHY L. – HELTAI M. – CSÁNYI S. – TÓTH, K. (2014): Alapozó tanulmány a mezei nyúl fajkezelési tervhez. Szent István Egyetem, Gödöllő, pp 152
- BROEKHUIZEN S. – MAASKAMP F. (1981): Annual production of young in European hares (*Lepus europaeus*) in the Netherlands. *J. Zool.* 193, 499–516. DOI: 10.1111/J.1469-7998.1981.TB01500.X.
- BULL L. B. – DICKINSON C. G. (1937): The specificity of the virus rabbit myxomatosis. *Journal of the Council for Scientific and Industrial Research* 10: 291–294.
- CARDOSO B. – GARCÍA-BOCANEGRA I. – QUEIRÓS J. – FERNÁNDEZ-LÓPEZ J. – ALVES P.C. – ACEVEDO P. (2024): Effect of Myxoma Virus Species Jump on Iberian Hare Populations. *Emerging Infectious Diseases* 30(6): 1293–1296.

- CARDOSO B. – GARCÍA-BOCANEGRA I. – QUEIRÓS J. – FERNÁNDEZ-LÓPEZ J. – ALVES P.C. – ACEVEDO P. (2025): Epidemiological surveillance of myxoma virus in European hares (*Lepus europaeus*) in the Iberian Peninsula: First evidence of infection by the emerging ha-MYXV. *Veterinary Microbiology* **302**: 110405. DOI: 10.1016/j.vetmic.2025.110405
- COLLINS J. J. (1955) Myxomatosis in the common hare. *Irish Veterinary Journal* **9**: 268.
- CSÁNYI S. – MÁRTON M. – BÓTI S. – SCHALLY G. (2025): Vadgazdálkodási Adattár 1960–2014/2015. Országos Vadgazdálkodási Adattár, Gödöllő. p. 24.
- DWHC (2025): Emerging disease hare myxomatosis continues to be monitored in 2025. <https://dwhc.nl/en/2025/06/emerging-disease-hare-myxomatosis-continues-to-be-monitored-in-2025/> letöltés ideje 2025.10.13.
- FARKAS S. – MAJZINGER I. (2007) A mezei nyúl (*Lepus europaeus*, Pallas, 1778) élőhelypreferenciája a táplálkozási időszakban. *Agrár- és Vidékfejlesztési Szemle* **2**(1): 29–37.
- FENNER F. – FANTINI B. (1999): Biological control of vertebrate pests: The history of myxomatosis, an experimental in evolution. Oxon, UK: CABI Publishing Wallingford.
- FISCHER L. – DE BRUIN E. – JONGEPIER E. – KOFFEMAN E. – KÖNIG P. – PFAFF F. – PETERS M. M.A. – VAN DEN BRAND J. – BUSSI M FISCHER D. – CALIENDO V. – WEERTS E. – JZER J. – MÜLLER J. – KÜHLING A. K. – KUMMERFELD M. – MÜLLER J. (2025): Recombinant Myxoma Virus in European Brown Hares, 2023–2024. *Emerging Infectious Diseases*, **31**(8): 1608–1612. DOI: DOI: 10.3201/eid3108.241969
- GAVIER-WIDEN D. – MÖRNER, T. (1991): Epidemiology and diagnosis of the European brown hare syndrome in Scandinavian countries: a review. *Revue Scientifique et Technique* **10**: 453–458.
- JACOTOT H. – VALLEE A. – VIRAT B. (1954): Sur un cas de myxomatose chez le lièvre. *Annales de l'Institut Pasteur* **86**: 105–107.
- KELEMEN J. – SZEMETHY L. – BÍRÓ, ZS. (2005): Present circumstances of brown hare management and required improvements. *Gazdálkodás. Agroökonómiai Tudományos Folyóirat* **49** (13): 80–91.
- KOUBA T. (2025): Myxomatosis in hares (*Lepus* sp.) – what we know about the beginnings of its spread. <https://educating.falconrace.cz/myxomatosis-in-hares-what-we-know-about-the-beginnings-of-its-spread/> Letöltés ideje: 2025.10.22.
- LE GALL-RECULE G. – ZWINGELSTEIN F. – FAGES M. P. – BERTAGNOLI S. – GELFI J. – AUBINEAU J. – ROOBROUCK A. – BOTTI G. – LAVAZZA A. – MARCHANDEAU S. (2011): Characterisation of a non-pathogenic and non-protective infectious rabbit lagovirus related to RHDV. *Virology* **410**: 395–402 DOI:10.1016/j.virol.2010.12.001
- LUCAS A. – BOULEY, G. – QUINCHON C. – TOCAS L. (1953): La myxomatose du lièvre. *Bulletin de l'Office International des Epizooties* **39**: 770–776.
- MAGALLON P. – BAZIN J. (1953): La myxomatose du lièvre. *Bulletin de l'Office International des Epizooties* **39**: 765–769.
- MAJER P. (2025): U uhynulých zajíců na jihu Moravy byla potvrzena myxomatóza. <https://www.svscr.cz/u-uhynulych-zajicu-na-jihu-moravy-byla-potvrzena-myxomatoza/> Letöltés ideje: 2025.10.19.
- MANEV I. – GENOVA K. (2024): Seroprevalence against myxoma virus in *Lepus europaeus* from Bulgaria. *Tradition and Modernity in Veterinary Medicine* **9**(16): 3–8.
- MAYER M. – FISCHER C. – BLAUM N. – SUNDE P. – ULLMANN, W. (2023): Influence of roads on space use by European hares in different landscapes. *Landscape Ecology* **38**: 131–146 <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-022-01552-3>
- MEZEI M. – BURSIC V. – VUKOVIC G. – PETROVIC A. – BEUKOVIC D. – DUSAN M. – BEUKOVIC M. (2018): Pesticides and the loss of biodiversity: European hare. In: Proceedings 26th International Conference Ecological Truth and Environmental Research. 12–15 June 2018. Bor. eds. Serbula S, Bor, 2018. University of Belgrade, 221–225.
- PEPIN D. (1973): Mise au point de techniques pour l'étude de populations de livrées. Université Pierre et Marie Curie, Paris. PhD Thèse, p. 42
- ROSSINI E. – BAZZUCCHI M. – TROCCHI V. – MERZONI F. – BERTASIO C. – KNAUF S. – LAVAZZA A. – CAVADINI P. (2024): Identification and Characterisation of a Myxoma Virus Detected in the Italian Hare (*Lepus corsicanus*). *Viruses* **16**: 437. DOI: 3390/ v16030437.

- RÖDEL H. G. – DEKKER J. J. A. (2012): Influence of weather factors on population dynamics of two lagomorph species based on hunting bag records. *European Journal of Wildlife Research* **58**(1): 923–932. DOI:10.1007/s10344-012-0635-1
- SAARI S.A. – RUDBÄCK E. – NISKANEN M. – SYRJÄLÄ P. – NYLUND M. – ANTTILA M. (2005): Contagious mucocutaneous dermatitis of the mountain hare (*Lepus timidus*): pathology and cause. *Journal of Wildlife* **41**: 775–782. DOI: 10.7589/0090-3558-41.4.775
- SUGÁR L. (2000): Vadbetegségek. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p. 149.
- SZABÓ J. (2022): Vad- és vadhús-külkereskedelmünk egy válságokkal terhelt világban. *Agrárágazat* **23**(8): 114–116.
- VETÉSI F. (1990): Diseases of the Domestic Rabbit (in Hungarian). Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, Hungary.
- WHITTY B. T. (1955): Myomatosis in the common hare. *Irish Veterinary Journal* **9**: 267.
- WIBBELT G. – FRÖLICH K. (2005). Infectious diseases in European brown hare (*Lepus europaeus*). *Wildlife Biology in Practice* **1**(1): 86–93. DOI: 10.2461/wbp.2005.1.11
- 79/2004. (V. 4.) FVM rendelet a vad védelméről, a vadgazdálkodásról, valamint a vadászatról szóló 1996. évi LV. törvény végrehajtásának szabályairól. Magyar Közlöny – Rendeletek tára, 62. szám, 2004. Kiadta a Magyar Hivatalos Közlönykiadó, Budapest, p. 6453–6512.

NYÁRAK EGY VÁLTOZÓ KOR KÜSZÖBÉN – AZ ERDÉSZETI NEMESÍTÉS VÁLASZA A KLÍMAVÁLTOZÁS KELTETTE KIHÍVÁSOKRA

Poplars on the threshold of a changing age – responses of forestry breeding to the challenges posed by climate change

BENKE ATTILA¹, BERCZKI KATALIN², CSEKE KLÁRA¹, MOLNÁR CSILLA ÉVA¹,
TAKÁCS ROLAND¹, KÖBÖLKUTI ZOLTÁN ATTILA¹

¹Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Nemesítési Osztály

²Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológia és Erdőművelési Osztály
benke.attila@uni-sopron.hu

Kivonat

Nemes nyár állományaink mintegy 80, hazai nyár állományainknak pedig közel 90%-a a klímaváltozás által legmarkánsabban érintett Nagyalföld erdőgazdasági tájsoportban található. Az egyre romló ökológiai feltételek miatt jelentős kihívások elé néző alföldi nyárgazdálkodás támogatása ezért az erdészeti nemesítés részéről is komoly szerepvállalást kíván. A nemesítői oldal legfontosabb feladatai e téren a következők: magasabb szárazságtoleranciával bíró nyárfajták szelektálása, magasabb értékű faanyag termelésére alkalmas fajták előállítása, valamint – ezekkel összefüggésben, részben azokat megalapozva – a stressztoleranciában és a faanyagtani jellegek kialakításában részt vevő molekuláris szabályozó folyamatok vizsgálata. A Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézetében e területek mindegyikén folynak a nemesítők kutatásokat.

Abstract

Approximately 90% of the hybrid poplar stands, and nearly 70% of the native poplar stands of Hungary are located in the Great Hungarian Plain, which is most severely affected by climate change. Supporting poplar cultivation in this lowland area, which faces significant challenges due to deteriorating ecological conditions, requires a serious commitment from forestry breeding. The most important tasks for breeders are as follows: selecting poplar cultivars with higher drought tolerance, breeding varieties that produce higher-value wood, and investigating the molecular regulatory processes underlying stress tolerance and wood properties. Research is being conducted in all these areas at the Forestry Research Institute of the University of Sopron.

Bevezetés

A tudományos alapokon nyugvó nyárnemesítés több mint 100 éves múltra tekint vissza (ISEBRANDS-RICHARDSON 2014), a nemesítők által alkalmazott technikák tekintetében széles palettát ölelve fel. A nemesítési módszerek között a napjainkban is meghatározó törzsfakeresztes mellett a modern molekuláris genetikai és genomikai kutatások eredményeit is gyakorta felhasználják a nemesítők az új genotípusok/klónok előállítása során, legyen szó kórokozókkal szemben toleranciát mutató genotípusok kereséséről, magas abiotikus stressztoleranciával rendelkező növényanyag előállításáról, vagy a feldolgozóipar számára értékesebb faanyagot képező klónok létrehozásáról (BISELLI et al. 2022, THAKUR et al. 2021).

A hazai nyárnemesítés rendre a nemzetközi kutatásokat szorosan követve haladt, egyes területek, így például a fajkereszteszések vizsgálata terén esetenként meg is előzve azt (KOPPECKY 1960a). Az 1951-ben indult, és az Erdészeti Tudományos Intézet Sárvári állomásán kiteljesedett intézményesített nemesítési munka legnagyobb sikereit a nemzetközi

klónkísérletekben szelektált törzsfák felhasználásával végzett keresztezéses nemesítés terén érte el. Az éves szinten gyakran több tízezer magonc alkotta növényanyag vizsgálata (GERGÁCS 1988) vezetett számos, mára országos ismertségű fajta létrejöttéhez. A hazai kutatások korszerűsége való folyamatos törekvését mutatják többek között nyár haploid vonalak korai előállítására (KOPECKY 1960b), vagy a molekuláris genetikai vizsgálatok nemesítési feladatokba történő bevonása jelentőségének korai felismerése (UJVÁRINÉ JÁRMAY 1988).

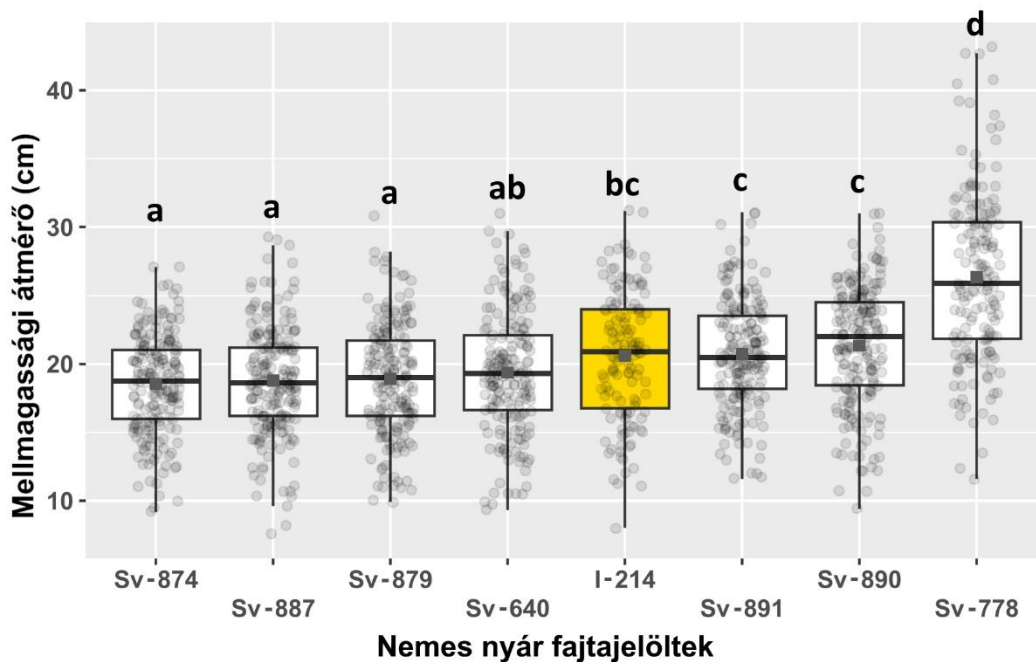
Az előrejelzések szerint a klímaváltozás negatív hatásai markánsan fogják súlytani az alföldi régiókat Magyarországon, ami, többek között, az alföldi erdők számára létfontosságú talajvízszint további csökkenésében is tetten érhető lesz. A klímaváltozás-talajvízszint kapcsolat közvetlen módon, vagyis a változó csapadék- és hőmérsékletviszonyok okán is valószínűsíthető (KOVÁCS-JAKAB 2021), de a növénytakaró hatása is szerepet játszhat majd a folyamat lefolyásában: a növekvő hőmérséklet keltette párolgási kényszer erőteljesebb talajvízfelhasználáshoz, ami pedig a talajvízszint további csökkenéséhez vezethet, ez pedig végsősoron a talajvíz használatra támaszkodó erdőállományok felújításának (és erdőművelésének) nehézségeit idézheti elő (MÁTYÁS et al. 2018). A hazai nyárgazdálkodásnak ezért komoly kihívásokkal kell szembenéznie az elkövetkező évtizedekben, melyek mérséklésében az erdészeti nemesítésnek is komoly szerepet kell vállalnia.

Jelen kéziratunkban a nyárnemesítés hazai ültetvényes nyárgazdálkodás fenntarthatóságának biztosítása érdekében végzett és tervezett feladatait tekintjük át röviden.

Szárazságtűrő nemes nyár fajták szelektálása hagyományos módszerekkel

A nemesítési kutatások legalapvetőbb művelete, legyen szó akár haszonállat, szántóföldi növény, vagy éppen erdészeti fajták nemesítéséről, az alapsokaság létrehozása, illetve annak szelekciója a felhasználás szempontjából ideális tulajdonságokat mutató egyedek kiválogatása céljából. Ez a folyamat az erdészeti vonalon (nyárnemesítés) jellemzően az előzetesen kiválasztott törzsfák keresztezését, illetve az így előállított vonalak több fokozatban [csemete kert, elsődleges kiválasztó (klón-) és fajtakiválasztó kísérlet] történő szelekcióját jelenti. A több kísérleti helyszínen több évtizeden keresztül végzett megfigyelések és mérések vezethetnek el végső soron az erdészeti/faipari felhasználás szempontjából legmegfelelőbb fajták köztermesztésben vonásához.

A klímaváltozás tekintetében, kifejezetten a szárazodó alföldi területen folytatott ültetvényes erdőgazdálkodás támogatása érdekében az erdészeti nemesítés célja olyan nemes nyár fajták szelekciója, melyek a többletvízhatástól független, gyenge vízkapacitással bíró talajú termőhelyeken is megfelelően növekednek, és képesek a hosszantartó aszályos időszakokat is tolerálni. A klónszelekciót ennek érdekében olyan erdőterületeken szükséges végezni, melyek már napjainkban is határtermőhelynek számítanak, és amelyek kiterjedésének növekedésére a jövőben számítani kell. A kísérletekben végzett növekedésmérések felvételi eredményeinek statisztikai kiértékelése lehetőséget biztosít azon klónok (esetenként fajtajelöltek) kiválasztására, melyek növekedése statisztikailag igazolható mértékben meghaladja a standardnak választott fajta (I-214) növekedését (1. ábra). A több területen párhuzamosan folyó vizsgálatok lehetővé teszik az egyes nemes nyár klónok termőhelyi igényének, termőhelytoleranciájának meghatározását, a kísérletekben folytatott dendrokronológiai vizsgálatok pedig az egyes klónok növekedésének bizonyos ökológiai paraméterekkel kapcsolatos viszonyának feltárását is.



1. ábra: A NEFAG Zrt. Pusztavacsi Erdészetének területén telepített nemesnyár fajtakiválasztó kísérlet felvételi eredménye 18 éves korban (2025). A felvételi adatok kiértékelése alapján megállapítható, hogy három nemes nyár kísérleti klón (Sv-640, Sv-891, Sv-890) mellmagassági átmérőben mért növekedése eléri, egyé pedig (Sv-778) szignifikánsan meghaladja a standard fajta (I-214) növekedését. Jelmagyarázat: a szürke pontok a felvételi értékeket, a dobozárak közepén látható vastag fekete vonalak a medián, a szürke négyzetek pedig a számtani átlag értékeket jelölik. Az oszlopok felett látható betűkódok a mediánértékek alapján számított szignifikancia csoportokat mutatják.

Az aszálytolerancia genetikai szabályozásának vizsgálata

Az erdészeti nemesítésben alkalmazott hagyományos technikák, mint például az F₁-es hibridek létrehozása és azok folyamatos tesztelésének egyik hátránya, hogy a célzott tulajdonság javítása (pontosabban a termesztés- és feldolgozástechnológiai szempontból kedvező tulajdonságokat legjobb arányban tartalmazó egyedek kiválogatása) gyakran csak több évtizedes szelekciós munka során érhető el. Sok esetben az adott fenotípusos jelleg vizsgálatára csak kifejlett egyedeken nyílik lehetőség, ami jelentősen megnehezíti a szelekciós munka lerövidítését. E probléma megoldására nyújt lehetőséget az adott jelleg genetikai szabályozásának feltárása, ugyanis amennyiben ismerté válik a tulajdonság kifejeződéséért felelős gén vagy gének csoportja, illetve a génszekvenciákban és a fenotípusos tulajdonságban nyilvánuló változatosság közötti kapcsolat, az adott génszakasz(ok)ra tervezett genetikai markerekkel a jelleget hordozó egyedek kiválogatása már korai életszakaszban, vagyis a tulajdonság kifejeződését megelőzően lehetővé válik.

Az úgynevezett markerekkel támogatott szelekció (*marker-assisted selection*, röviden MAS) a magasabb szárazságstressz-toleranciával rendelkező nemes nyár klónok kiválasztásában is alkalmazható lehet. Egy 2025-ben indult üvegházi kísérletben a szárazságstressz során működésben lépő gének vizsgálatát kezdtük meg (2. ábra). Az ellenőrzött feltételek között létrehozott kísérletben a vízmegvonással érintett növények leveléből kivont RNS-ből RNS könyvtárat készítünk, elvégezzük az RNS-es szekvenálását, referenciagenomra való térképezését, majd funkcionális értelmezését, ami végső soron elvezet a szárazságstresszre adott élettani reakciók molekuláris genetikai hátterének megismeréséhez. A felárt kulsgének megfelelő szekvenciákra tervezett primerekkel pedig a nemes nyárak szárazságtoleranciája

válík jellemezhetővé, ami a tulajdonságot hordozó egyedek fiatalkori kiválogatását is lehetővé teszi.



2. ábra: A Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézetének sárvári üvegházában beállított szárazságstressz kísérlet. A kísérlethez konténeres Pannónia [*Populus × euramericana* (Dode) Guinier cv. Pannónia] gyökeres dugványokat használtunk. A fénykép bal oldalán a 13 napon keresztül nem öntözött, míg jobb oldalán a vízkapacitásig minden nap feltöltött talajú növénycsoportok láthatóak.

Nyár faanyag mechanikai tulajdonságainak fejlesztése bioinformatikai módszerekkel

A gyenge minőségű termőhelyeken végzett ültetvényes nyárgazdálkodás eredményességének fenntartása szempontjából lényeges nemesítési célkitűzés olyan nyárfajták nemesítése, amelyek mellett, hogy magasabb szárazságtoleranciával bírnak, magasabb minőségű faanyag termelését is lehetővé teszik. E nemesítési cél a faanyagfeldolgozási szempontból meghatározó fenotípusos vagy anatómiai jellegek kifejeződésében szerepet játszó genetikai szabályozási folyamatok, a szabályozásban szerepet játszó gének, génhálózatok feltárásán keresztül érhető el.

Mind a fűrészárú, mind a rostosított faanyag minőségét befolyásolja a másodlagos sejtfal S2 rétegét alkotó mikro fibrillumok elhelyezkedése (DONALDSON 2008). Egy *in silico* (bioinformatikai) kutatásban célunk volt feltárni, hogy mely mikro-RNS-ek és génhálózatok kapcsolódhatnak a mikro fibrilla szög (a mikro fibrillumoknak a sejt hossz tengelyével bezárt szöge; *microfibril angle*, röviden MFA) szabályozásához nyugati balzsamos nyárban (*Populus trichocarpa* Torr. & A.Gray ex. Hook.). A kétszikű növényekben leírt, MFA-val összefüggésbe hozott EST-k (*expressed sequence tag*; expresszált szekvenciaszakasz) adatbázisa és a *Populus trichocarpa* referenciagenom felhasználásával végzett bioinformatikai elemzés során összesen 9 kulcsgént szabályozó mintegy 250 mikro-RNS-t azonosítottunk (KÖBÖLKUTI et al. 2022). Az azonosított gének és génszabályozási útvonalak lehetővé teszik a későbbiekben genetikai markerek fejlesztését, amelyek hozzájárulhatnak magasabb minőségű faanyagot képző klónok szelekciójához (MAS).

Hazai nyárok faanyagtani szempontú nemesítése

A hazai nyárok, elsősorban az alföldi tájképet nagyban meghatározó fehér nyár (*Populus alba* L.) és a hibrid szürke nyár [*Populus × canescens* (Aiton) Sm.] erdészeti jelentőségének,

értékének növelése fontosságát már Koltay György és Kopecky Ferenc is felismerte az 1950-es évek során (KOLTAY-KOPECKY 1954). Céljuk olyan szürke nyár egyedek, csoportok szelekciója volt, melyek a fehér nyárhoz hasonló termőhelytoleranciával bírnak, faanyaguk viszont a rezgő nyárra jellemző minőséget képvisel, vagyis szintelen gesztű, szurkos álgeszt kialakulására pedig nem hajlamos. Kiterjedt terepi vizsgálataik során sikerült ilyen típusú szürke nyárat azonosítani a Duna-Tisza közti hátságon, kutatásuk azonban ismeretlen okokból megszakadt. Egyik fő nyárnemesítési célkitűzésünk a Koltay György és Kopecky Ferenc által megkezdett hazai nyár nemesítés folytatása, molekuláris genetikai módszerekkel is támogatottan.

2024 és 2025 során a Dunántúlon és a Duna-Tisza között összesen 12 községhatárban végeztünk állományvizsgálatokat a fent említett kedvező faanyagot mutató szürke nyár egyedek felkutatása érdekében. Furatminták alapján két, szintelen gesztű egyedek alkotta állományt is sikerült a Duna-Tisza közti hátságon azonosítani. A terepi vizsgálatokkal egyidőben bioinformatikai módszerekkel gesztésedési folyamatok szabályozásában részt vevő génekhez köthető primerek tervezését végeztük. Célunk ugyanis a szintelen geszt kialakulásának szabályozási folyamata feltárása mellett a markerekkel támogatott szelekció módszerének kidolgozása is, a kedvező tulajdonságú egyedek korai, akár magonckorban végezhető kiválogatása érdekében.



3. ábra: Gyenge homoki termőhelyen álló, szintelen gesztű egyedek alkotta szürke nyár állomány a Duna-Tisza közti homokhátság. Az ilyen és ehhez hasonló, kedvező fenotípusos jellegeket mutató állományok kiemelt jelentőséget képviselnek a hazai nyárnemesítés számára.

Irodalomjegyzék

- BISELLI C. – VIETTO L. – ROSSO L. – CATTIVELLI L. – NERVO G. – FRICANO A. (2022): Advanced Breeding for Biotic Stress Resistance in Poplar. *Plants* 11(15):2032. <https://doi.org/10.3390/plants11152032>
- DONALDSON L. (2008): Microfibril Angle: Measurement, Variation and Relationships – A Review. *IAWA Journal* 29(4): 345-386. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000192>

- GERGÁ CZ J. (1988): A nyá rak keresztezéses nemesítése terén elért eddigi eredmények. Erdészeti Kutatások 80–81(1): 19–28.
- ISEBRANDS J. G. – RICHARDSON J. (2014): Poplars and Willows - Trees for Society and the Environment. CABI/FAO. eISBN: 978-1-78064-228-4.
- KOLTAY GY. – KOPECKY F. (1954): Óshonos nyáraink leromlott öröklöttségének megjavítása. Erdészeti Kutatások 1(2): 65–86.
- KOPECKY F. (1960a): Nyár-fajhibridek és erdőgazdasági jelentőségük. Erdészeti Kutatások 60(3): 171–193.
- KOPECKY F. (1960b): Experimentelle Erzeugung von haploiden Weisspappeln (*Populus alba* L.). *Silvae Genetica* 9(4): 102–105.
- KOVÁCS A. – JAKAB A. (2021): Modelling the Impacts of Climate Change on Shallow Groundwater Conditions in Hungary. *Water* 13(5):668. <https://doi.org/10.3390/w13050668>
- KÖBÖLKUTI Z. A. – BENKE A. – CSEKE K. – BOROVICS A. – TÓTH E. GY. (2023): In silico analysis of key regulatory networks related to microfibril angle in *Populus trichocarpa* Hook. *Biologia* 78: 675–688. <https://doi.org/10.1007/s11756-022-01238-w>
- MÁTYÁS C. – BERKI I. – BIDLÓ A. – CSÓKA G. – CZIMBER K. – FÜHRER E. – GÁLOS B. – GRIBOVSKI Z. – ILLÉS G. – HIRKA A. – SOMOGYI Z. (2018): Sustainability of Forest Cover under Climate Change on the Temperate-Continental Xeric Limits. *Forests* 9(8):489. <https://doi.org/10.3390/f9080489>
- THAKUR A. K. – KUMAR P. – PARMAR N. – SHANDIK R. K. – AGGARWAL G. – GAUR A. – SRIVASTAVA D. K. (2021): Achievements and prospects of genetic engineering in poplar: a review. *New Forests* 52, 889–920. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09836-3>
- UJVÁRINÉ JÁRMAY É. (1988): A nemesítési kutatásokról. *Az Erdő* 37(10): 436–440.

TALAJBAKTÉRIUM-KÖZÖSSÉGEK SZERKEZETÉNEK ÉS RESPIRÁCIÓS AKTIVITÁSÁNAK VIZSGÁLATA HAZAI ERDŐÁLLOMÁNYOKBAN

Investigation of the structure and respiration activity of soil bacterial communities in Hungarian forest stands

BERECZKI KATALIN^{1,3}, BENKE ATTILA¹, TÓTH ENDRE GY.², MEGYES MELINDA³, KORPONAI KRISTÓF³, SZILI-KOVÁCS TIBOR⁴, ILLÉS GÁBOR¹, MÁRIALIGETI KÁROLY⁵

¹Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet

²National Coalition of Independent Scholars (NCIS)

³Környezettudományi Doktori Iskola, Eötvös Loránd Tudományegyetem

⁴HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont, Talajtani Intézet

⁵Eötvös Loránd Tudományegyetem

bereczki.katalin@uni-sopron.hu

Kivonat

A talajok baktériumközösségének összetétele, diverzitása és aktivitása szoros kapcsolatot mutat a talaj állapotával. Kutatásunk során két elegyes kocsányos tölgyes (egy, a vizsgálati időszakban véghasznált, és egy, már felújítási szakaszban lévő) és egy akácos állomány talajbaktérium-közösségének összetételét és aktivitását vizsgáltuk négy éven keresztül, 16S rRNS szekvenálás és szubsztrát-indukált légzés adatok alapján. Eredményeink alapján az egyes állományok baktériumközösség-szerkezetének különbségeiért az Acidobacteriota és az Actinobacteriota phylum tagjainak eltérő relatív gyakorisága volt felelős. Az edafikus tényezők oldaláról a talaj pH értéke bizonyult a baktériumközösségek összetételét meghatározó legnagyobb hatású paraméterének. A katabolikus aktivitás tekintetében az erdő-állományok talaj mikrobaközösségének a citrát meghatározó hatását fedte fel az állományok közötti variancia kialakítását illetően. Eredményeink arra utalnak, hogy az erdőtalajok baktériumközösségének szerkezetére és működésére a talajok uralkodó fizikai és kémiai tulajdonságai jelentősebb hatást gyakorolnak, mint az állományok fafajösszetétel- és szerkezetviszonyai.

Abstract

The composition, diversity, and activity of soil bacterial communities are closely related to soil condition. In our research, we examined the composition and activity of the soil bacterial communities of two mixed pedunculate oak forests (one clear-cut during the study period and one already in the regeneration phase) and one black locust forest over a period of four years, using 16S rRNA sequencing and substrate-induced respiration data. Based on our results, the differences in the bacterial community structure of the individual stands were due to the different relative abundances of members of Acidobacteriota and Actinobacteriota phyla. Concerning edaphic factors, soil pH had the highest impact on bacterial community structure. As for catabolic activity, the soil microbial community of the forest stands revealed the dominant influence of citrate utilization in the development of inter-stand variance. Our results suggest that the dominant physical and chemical properties of soils have more significant effect on the structure and function of forest soil bacterial communities than the forest type composition and structure of the stands.

Bevezetés

Az erdők a Föld legfontosabb szárazföldi ökoszisztémái kiterjedésük, összetettségük és a biológiai sokféleség megőrzésében betöltött szerepük miatt; a világ szárazföldi állat- és növényfajainak mintegy 80%-a az erdőkhöz kötődik (FAO-UNEP 2020), de szénmegkötő

képességük és széntároló kapacitásuk révén az éghajlatváltozás mérséklésében is meghatározó szerepet játszanak (IPPC 2024). Emiatt, bizonyos mértékig, az erdei ökoszisz-témákat érintő valamennyi folyamat a földi élet minőségére is hatással van. Jelentős folyamatok egyike az ember tudatos erdőhasználata, amelyben az erdőtelepítés és a fakitermelés tekinthető a legintenzívebb tájalakító tevékenységnek. E beavatkozások, amellet, hogy számottevően befolyásolják az adott terület növényi és állati biodiverzitását (BREMER-FARLEY 2010, GRAHAM et al. 2017, KEMBEL et al. 2008, LENCINAS et al. 2014), a jelentős hatást gyakorolnak a talaj fizikai- és kémiai tulajdonságaira is (HOLUBÍK et al. 2014, SEGURA et al. 2021), valamint képesek változásokat okozni a talaj mikrobaközösségének összetételében és működésében is (LAN et al. 2022, SMENDEROVAC et al. 2017).

A talajbaktérium-közösség összetétele és diverzitása a talaj ökológiai állapotának fontos indikátora. A talajban élő mikrobaközösség összetételének, funkcióinak és mennyiségi viszonyainak ismerete fontos információt szolgáltat a talaj állapotáról (BACH et al. 2018, CHAU et al. 2011, EILERS et al. 2012), amely nyomon követhető egy talajkezelés, vagy egy talajszennyezés hatásának feltárását célzó vizsgálat során is (AI et al. 2018, GUPTA et al. 2017, LI et al. 2021). A talaj mikrobaközösségének monitorozásával a talaj erdőgazdasági beavatkozások által okozott bolygatásának hatása is felmérhető, hiszen többek között a szerves anyag elhordás és talajtömörödés által ezek a tevékenységek is befolyással vannak a talajban élő mikroorganizmusok összetételére és aktivitására. A beavatkozások hatására a bolygatott talajban egyes domináns szervezetek visszaszorulhatnak, helyüket a megváltozott körülményeket jobban toleráló szervezetek vehetik át (AMOO-BABALOLA 2019, CHENG et al. 2021, PASCUAL et al. 2000). Emiatt is fontos az erdőket alkotó növényfajok és a talaj mikrobaközössége közötti kapcsolat alaposabb ismerete, hiszen a tápelemek körforgásának biztosításában, valamint az elhalt növényi biomasza lebontásában betöltött szerepe (LLADÓ et al. 2017) miatt a talaj mikrobaközössége az adott területen fejlődő növényzet összetételét, a kialakuló erdőállomány, ökoszisztéma komplexitását is képes befolyásolni. Máiig nem ismertek azonban teljesen azok a mechanizmusok, amelyek a növény és a talaj közötti anyagforgalomért, annak kialakulásáért és fenntartásáért felelősek (BALDRIAN 2017a, BALDRIAN 2017b, FRICKER et al. 2008).

Kutatásunk területétől három olyan erdőállományt választottunk, amelyek egy, az 1930-as években telepített erdőtömbben helyezkednek el. Így értékeltünk egy felújítási fázisban lévő elegyes kocsányos tölgyes, egy elegyetlen akác állomány, valamint egy véghasználat előtt álló idős, elegyes kocsányos tölgyes erdőrészletet. Az erdőállományok talaj baktériumközösségének összetételét metagenom elemzéssel vizsgáltuk, míg a baktériumközösség aktivitását szubsztrát indukált respirációval értékeltük. Emellet a talaj fizikai- és kémiai tulajdonságainak a talajbaktérium-közösség összetételére és a szubsztrát-indukált respirációra gyakorolt hatását is értékeltük.

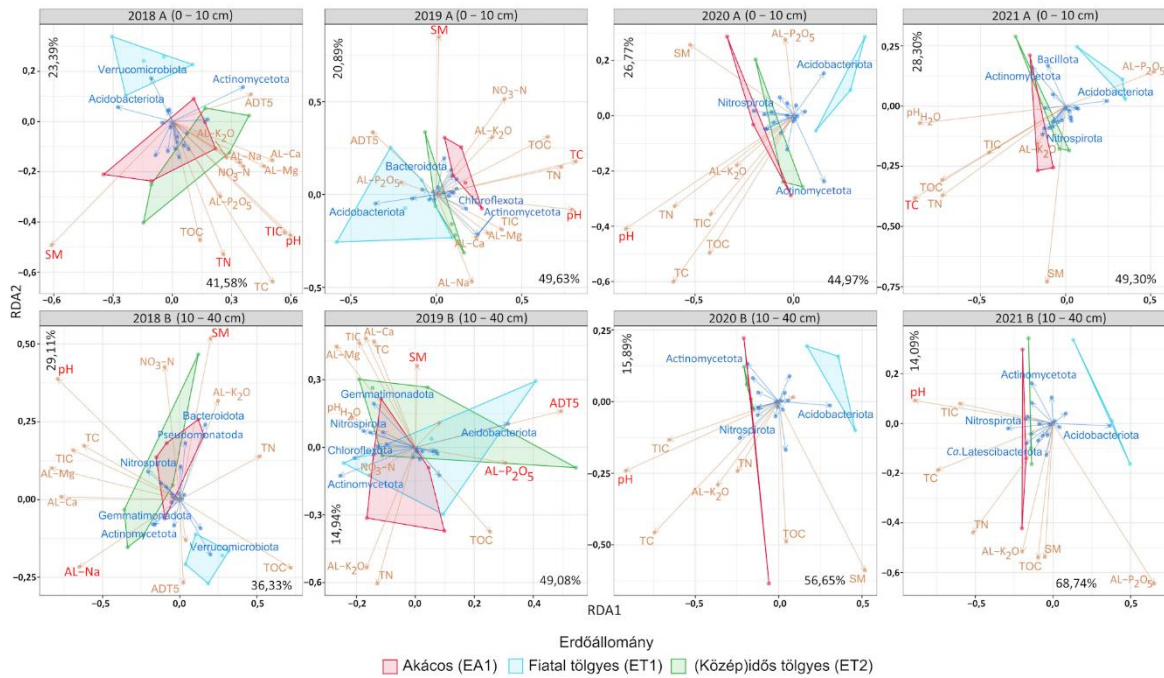
Anyag és módszer

A vizsgált erdőállományok Ráckeresztúr határában, egy 80,6 hektár nagyságú, az 1930-as években telepített erdőtömbben helyezkednek el. A talaj mintavételt négy éven keresztül, két talajmélységből végeztük a vegetációs időszakban. A vizsgált erdőállományok talajmin-táinak baktériumközösség összetételének meghatározását a közösségi DNS kivonást követően, a 16S rRNS gén amplikon szekvenálással végeztük Illumina MiSeq platformon a gyártói protokollt követve (ILLUMINA 2023). A mintasorok 16S rRNS szekvencia adatain bioinformatikai szűréseket hajtottunk végre. A talajkémiai- és fizikai paraméterek vizsgálatához az érvényben lévő magyar és nemzetközi szabványokat alkalmaztunk. A talaj-mikrobaközösség metabolikus aktivitás-mintázatát MicrorespTM módszerrel vizsgáltuk a szubsztrát-indukált respiráció alapján (CAMPBELL et al. 2003). A laboratóriumi vizsgálatok során nyert

adatok statisztikai értékelését R programkörnyezetben végeztük (R CORE TEAM 2022). Az erdőállományok részletes bemutatása, a mintavétel körülményei és gyakorisága, a laboratóriumi vizsgálatok, valamint a bioinformatikai szűrések és a statisztikai módszerek részletes információi megtalálható BERECZKI et al. 2024a, BERECZKI et al. 2024b által közölt publikációban.

Eredmények

Az egyes erdőállományok baktériumközösségei közötti variancia elemzése, illetve a baktériumközösségek szerkezetét meghatározó környezeti tényezők feltárása érdekében végzett redundancia elemzés (RDA) eredményeit az 1. ábra szemlélteti.

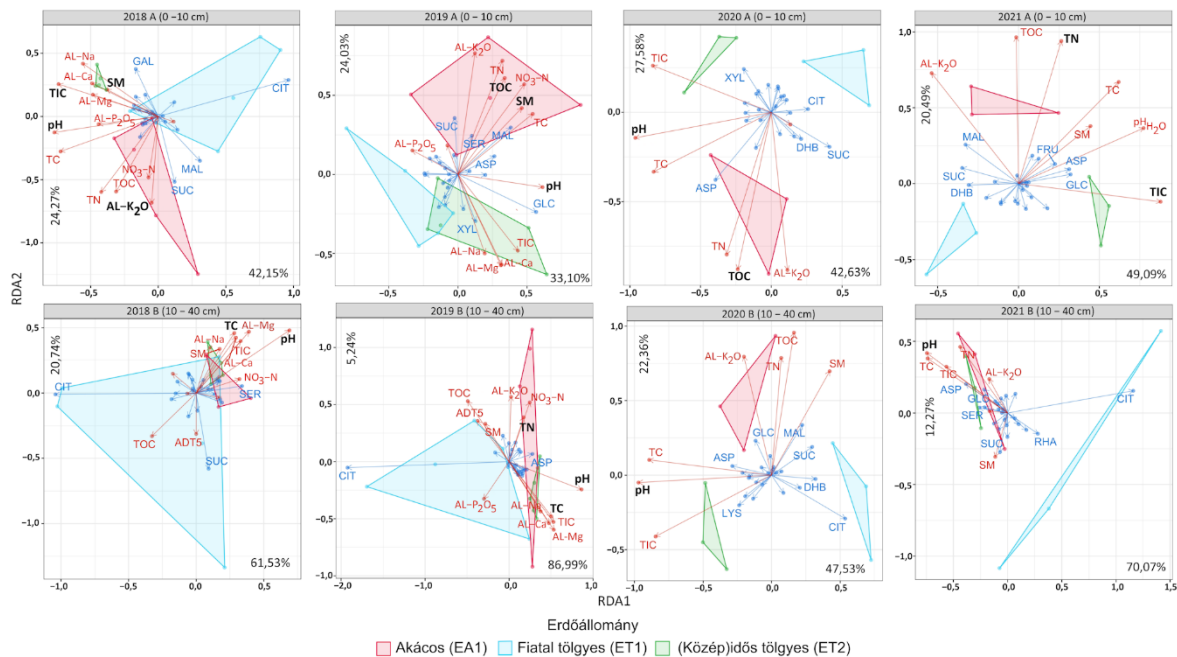


1. ábra: Baktériumtörzsek átlagos relatív abundanciájának és a környezeti paraméterek redundanciaelemzésének (RDA) korrelációs biplot ábrái. Az egyes nyilak hossza az adott változó teljes varianciájához való hozzájárulásának mértékére utal. A nyilak közötti szög az egyes változók közötti korrelációnak felel meg (a 90°-os szög nulla korrelációt, míg a 0°-os vagy a 180°-os szög teljes pozitív, illetve negatív korrelációt jelent). A biplotokon azokat a baktériumtörzseket (phylum szint) tüntettük fel (kék betűkkel), amelyek teljes varianciához való hozzájárulása a legnagyobb. A poligonok az erdőállományok mintavételi pontjait szemléltetik. Jelmagyarázat: EA1: akácós erdőállomány; ET1: fiatal tölgyes erdőállomány; ET2: ET2 tölgyes erdőállomány; A: 0–10 cm talajmélység; B: 10–40 cm talajmélység; a: 2018; b: 2019; c: 2020; d: 2021; ADT5: a mintavételek napját megelőző öt nap napi átlaghőmérséklete (a mintavétel napját is beleszámolva); Ca.: Candidatus. A fizikai- és kémiai paraméterek rövidítése a BERECZKI et al. 2024a által közölt publikációban található.

Az ábrák alapján megállapítható, hogy a taljából baktériumközösség összetételében megnyilvánuló variancia kialakításában az Acidobacteriota és az Actinomycetota törzsek játszották a legnagyobb szerepet. Az A talajmélység baktériumközösségeiben megnyilvánuló variancia kialakításában ezen felül a Chloroflexota (2019), a Nitrospirota (2020, 2021), a Bacteroidota (2019) és a Bacillota (korábbi néven Firmicutes) (2021) törzsek képviselői játszottak fő szerepet, míg a B talajmélységben ugyancsak a Nitrospirota (2018-2021) és a Chloroflexota (2019), valamint részben a Bacteroidota (2018), a Verrucomicrobiota (2018), a

Gemmatimonadota (2018, 2019), a Pseudomonadota (2018) és a *Ca. Latescibacterota* (2021) szerepe volt meghatározó. Az egyes törzsek környezeti változókkal mutatott kapcsolatából megállapítható, hogy az Acidobacteriota konzekvensen negatív korrelációt mutatott a pH-val, az Actinomycetota negatív korrelációban állt a talajnedvességgel, míg a Nitrospirota ugyancsak negatívan korrelált az összes szerves széntartalommal. Utóbbi kapcsolat 2020-ban és 2021-ben már nem volt kimutatható. A redundanciaelemzés keretében végzett forward selection elemzés eredményét az 1. ábrán piros betűkkel emeltük ki. Az elemzés a talaj pH értékének szerepét emelte ki a talajbaktériumközösség szerkezetére gyakorolt hatás tekintetében, tehát a vizsgált erdőállományok esetében e környezeti paraméter bizonyult a legjobb közösségszerkezet előrejelző változónak (2018 és 2020, A talajmélység; 2018, 2020 és 2021, B talajmélység). Emellett ugyancsak jó előrejelző változónak bizonyult a talaj nedvességtartalma 2018-ban és 2019-ban mindkét talajmélységben, az összes széntartalom 2019-ben és 2021-ben az A talajmélységben, továbbá részben az összes nitrogén tartalom (2018, A talajmélység), az összes szerves széntartalom (2018, A talajmélység), az AL-nátrium tartalom (2018, B talajmélység), az átlaghőmérséklet (2019, B talajmélység), az AL-foszfor tartalom (2019, B talajmélység), valamint az AL-kalcium tartalom (2021, B talajmélység).

Az egyes erdőállományok talaj mikrobaközösség aktivitásának RDA vizsgálatával végzett elemzése a citrát meghatározó szerepét fedte fel az állományok közötti variancia kialakításában (2. ábra).



2. ábra: A szénforrás hasznosítás és a talaj paraméterek redundanciaelemzésének biplot ábrái. A nyílhegyek hossza a változók teljes varianciájához való hozzájárulásának mértékére utal. Az egyes nyilak hossza az adott változó teljes varianciájához való hozzájárulásának mértékére utal. A nyilak közötti szög az egyes változók közötti korrelációnak felel meg (a 90°-os szög nulla korrelációt, míg a 0°-os vagy a 180°-os szög teljes pozitív, illetve negatív korrelációt jelent). A biplotokon azok a szénforrásokot tüntettük fel (kék betűkkel), amelyek teljes varianciájához való hozzájárulása a legnagyobb. A poligonok az erdőállományok mintavételi pontjait szemléltetik. Jelmagyarázat: EA1: akác erdőállomány; ET1: fiatal tölgyes erdőállomány; ET2: ET2 tölgyes erdőállomány; A: 0–10 cm talajmélység; B: 10–40 cm talajmélység; a: 2018; b: 2019; c: 2020; d: 2021; ADT5: a mintavételek napját megelőző öt nap napi átlaghőmérséklete (a mintavétel napját is beleszámolva). A fizikai- és

kémiai paraméterek rövidítése, valamint a szénforrások rövidítései BEREZKI et al. 2024a által közölt publikációban található.

A citrát bizonyult a legnagyobb hatású változónak a B talajmélységben a teljes vizsgálati időszakban (2018-2021), illetve az A talajmélységben 2018-ban. A szukcinát is jelentős hatású szénforrásnak mutatkozott (2018-2021, A talajmélység; 2018, 2020, 2021, B talajmélység), a malát (2018, 2019, 2021, A talajmélység; 2020, B talajmélység) és az aszparagin (2020, 2021, A talajmélység; 2019, 2020, 2021, B talajmélység), illetve egy-egy évben, a glükóz (2019, 2021, A talajmélység; 2020, 2021, B talajmélység), a szerin (2019, A talajmélység; 2018, B talajmélység) és a galaktóz (2018, A talajmélység). Kisebb arányban, de részt vett a variancia kialakításában a xilóz (2019, 2020, A talajmélység), a DH-benzoát (2020, 2021, A talajmélység; 2020, B talajmélység), a lizin (2020, B talajmélység) és a ramnóz (2021, B talajmélység) is.

A redundancia elemzés eredményeit bemutató 2. ábra biplotjain szereplő, a vizsgált erdőállományokhoz tartozó sokszögek ugyancsak alkalmasak az állományok respirációs mintázatának összehasonlítására. A sokszögek elhelyezkedése alapján megállapítható, hogy a két elegyes tölgyes állomány szubsztrátfelhasználás mintázata 2018-ban, az ET2 tölgyes véghasználatát megelőzően jelentősen különbözött egymástól, és e különbségek kialakításában a citrát eltérő, az ET2-es állományt érintő nagyobb felhasználása játszott szerepet. A tarvágás évében (2019) a két állomány respirációs mintázata az A talajmélységben részben hasonlónak vált, a B talajmélységben ellenben a különbség jelentős maradt, ugyancsak a citrátfelhasználás eltérése okán. A 2020-as és 2021-es vegetációs időszakban a két elegyes tölgyes szubsztrátfelhasználás tekintetében jelentősen eltért egymástól, mindkét vizsgált talajmélységben.

A redundancia elemzés keretében végzett forward selection elemzés eredményét a 2. ábrán a vastaggal szedett fekete betűkkel emeltük ki. A talaj mikrobaközösség aktivitásának (szubsztrát felhasználás mintázatának) legjobb környezeti előrejelzőjének a pH bizonyult. Emellett szoros kapcsolatot mutatott a szubsztrát-felhasználás mintázattal az AL-K₂O (2018, A talajmélység), az SM (2018, 2019, A talajmélység), a TIC (2018, 2021, A talajmélység), a TC (2018, 2019, B talajmélység), a TOC (2019, 2020, A talajmélység), valamint a TN (2019, B; 2021, A talajmélység) is. Eredményeink alapján tehát a pH jelentős hatása mellett a talaj tápanyag-, szén- és nedvességtartalmának csak időszakos, kiegészítő hatása volt a talaj mikrobaközösségének aktivitására a vizsgált erdőállományokban.

Következtetések

A környezeti paraméterek baktériumközösség összetételre gyakorolt hatásának vizsgálata céljából végzett forward selection elemzés a pH-t tárta fel a legnagyobb hatású edafikus tényezőnek, ami megfelel más kutatócsoportok által végzett kutatások eredményeivel (KAISER et al. 2016, PLASSART et al. 2019, ROMANOWICZ et al. 2016). A pH szinte valamennyi évben meghatározó tényező volt az általunk vizsgált területek esetében; a 2019-es évben a pH hatása csak részlegesnek bizonyult. 2019-ben az A talajmélységben az összes szén és a nedvességtartalom, a B talajmélységben pedig a hőmérséklet, a foszfor- és a nedvességtartalom voltak a közösségösszetételt legjobban előjelző változók. Ez az eredmény arra enged következtetni, hogy az erdőállományok e tényezőkben beállt változásokra reagáltak legjobban, de legfőképpen a tarvágással érintett ET2 erdőállomány baktériumközössége. A 2019-es évet meghatározó környezeti tényezők baktériumtörzsekkel mutatott korrelációs eredményeit áttekintve az A talajmélységben a Bacteroidota, a Chloroflexota és a Nitrospirota taxonok, a B talajmélységben pedig az Actinomycetota, a Pseudomonatoda, a Bacteroidota, valamint a Chloroflexota emelhetők ki, mint erős korrelációt mutató törzsek.

A redundanciaelemzés során 2019-ben mindkét talajmélységben az Acidobacteriota és az Actinomycetota taxonok képviselői bizonyultak az állományok közötti varianciát legnagyobb mértékben meghatározó törzseknek. Mellettük a meghatározó környezeti tényezőkkel erős (szignifikáns) kapcsolatot mutató törzsek közül az A talajmélységben a Bacteroidota és a Chloroflexota, a B talajmélységben pedig a Chloroflexota voltak. Összességében a tarvágás hatására bekövetkezett tápanyagtartalom változásnak közvetlen hatása volt a letermelt erdőállomány talaj baktériumközösségének szerkezetére az A talajmélységben, a kópiotróf baktériumok (főként a Bacteroidota phylum képviselői) relatív gyakoriságának növekedése által, amelyek a könnyen felhasználható szénforrásokban gazdag környezetet részesítik előnyben, míg a B talajmélységben a kialakult tápanyagforrás csökkenés pedig az oligotróf baktériumok szaporodásának kedveztek (főként Chloroflexota phylum képviselői) (FIERER et al. 2007).

A három vizsgált erdőállomány talajmintáinak összehasonlításában a szubsztrát-indukált respirációs vizsgálatok során a legnagyobb fogyasztást a Mal, Glc, Fru, Cit, Xyl, Suc és Asp szubsztrátok esetében mutattuk ki, ami megfelel más kutatócsoportok által végzett kutatások eredményeivel (FÜZY et al. 2023, GAZDAG et al. 2019, UJVÁRI et al. 2020). Az RDA és a forward selection elemzés eredményei alapján a talaj pH értéke, valamint az összes szén, összes szerves szén és összes szerves széntartalom voltak a vizsgált erdőállományok mikrobaközösségek légzésére leginkább meghatározó környezeti változók. Ezen felül talajmélységektől és évektől függően az összes nitrogén, a kálium- és a nedvességtartalom szintén jó előrejelző változónak bizonyultak, amely eredmények összhangban vannak GAZDAG et al. (2019) eredményével. A redundanciaelemzés a citrát az erdőállományok közötti varianciára gyakorolt jelentős hatását fedte fel, amely szénforrás hasznosítása az ET2 tölgyes állományban volt kimagasló, főként az ET2 erdőállomány kitermelését követő évben. A citrátnek a többi szubsztráthoz, különösen a karboxilsavakhoz viszonyított jelentős túlhasznosításának oka nem ismert. A jelenség egyik lehetséges magyarázata a mikrobák ökológiai stresszre (tarvágás következtében a napsugárzási körülmények megváltozása, esetleg a jelentősen csökkenő gyökérexudátum termelés) adott anyagcsere válasza lehet. Bár a trikarbonsavciklus jelentőségét a baktériumok stresszre adott válaszfolymataiban számos tanulmány bizonyította (MAILLOUX et al. 2007, MEYLAN et al. 2017, RAMOND et al. 2014), a citrát felvételének és a citrátciklusba való belépésének lehetséges szerepe (AKRAM 2014, DIMROTH 2004) további vizsgálatokat igényel.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásunkat a Széchenyi 2020 program, Magyarország Kormánya, az Európai Unió és az Európai Regionális Fejlesztési Alap támogatásával a „Talajbiom kutató interdiszciplináris kiválósági központ létrehozása a fenntartható talajerőforrás biztosítása érdekében” GINOP-2.3.2-15-2016-00056 témapályázat finanszírozásában végeztük.

Irodalomjegyzék

- AI C. – ZHANG S. – ZHANG X. – GUO D. – ZHOU W. – HUANG S. (2018): Distinct responses of soil bacterial and fungal communities to changes in fertilization regime and crop rotation. *Geoderma* 319: 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.010>.
- AKRAM M. (2014): Citric Acid Cycle and Role of its Intermediates in Metabolism. *Cell Biochem Biophys* 68: 475–478. <https://doi.org/10.1007/s12013-013-9750-1>.
- AMOO A.E. – BABALOLA O.O. (2019): Impact of Land Use on Bacterial Diversity and Community Structure in Temperate Pine and Indigenous Forest Soils. *Diversity* 11: 217. <https://doi.org/10.3390/d11110217>.
- BACH E.M. – WILLIAMS R.J. – HARGREAVES S.K. – YANG F. – HOFMOCKEL K.S. (2018): Greatest soil microbial diversity found in micro-habitats. *Soil Biol Biochem* 118: 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.12.018>.

- BALDRIAN P. (2017a): Microbial activity and the dynamics of ecosystem processes in forest soils. *Curr Opin Microbiol* 37: 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2017.06.008>.
- BALDRIAN P. (2017b): Forest microbiome: diversity, complexity and dynamics. *FEMS Microbiol Rev* 41: 109–130. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuw040>.
- BERECZKI K. – TÓTH E.G. – SZILI-KOVÁCS T. – MEGYES M. – KORPONAI K. – LADOS B.B. – ILLÉS G. – BENKE A. – MÁRIALIGETI K. (2024a): Soil Parameters and Forest Structure Commonly Form the Microbiome Composition and Activity of Topsoil Layers in Planted Forests. *Microorganisms*, 12: 1162. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12061162>.
- BERECZKI K. – BENKE A. – TÓTH E.G. – MEGYES M. – KORPONAI K. – SZILI-KOVÁCS T. – ILLÉS G. – LADOS B.B. – MÁRIALIGETI K. (2024b): Soil pH and Nutrient Content Sustain Variability of Soil Bacterial Community Structure and Activity after Forest Clear-Cutting. *Forests* 15(8): 1284. <https://doi.org/10.3390/f15081284>.
- BREMER L.L. – FARLEY K.A. (2010): Does plantation forestry restore biodiversity or create green deserts? A synthesis of the effects of land-use transitions on plant species richness. *Biodivers Conserv* 19: 3893–3915. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9936-4>.
- CAMPBELL C.D. – CHAPMAN S.J. – CAMERON C.M. – DAVIDSON M.S. – POTTS J.M. (2003): A Rapid Microtiter Plate Method To Measure Carbon Dioxide Evolved from Carbon Substrate Amendments so as To Determine the Physiological Profiles of Soil Microbial Communities by Using Whole Soil. *J Appl Environ Microbiol* 69: 3593–3599. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.6.3593-3599.2003>.
- CHAU J.F. – BAGTZOGLU A.C. – WILLIG M.R. (2011): The Effect of Soil Texture on Richness and Diversity of Bacterial Communities. *Environ Forensics* 12: 333–341. <https://doi.org/10.1080/15275922.2011.622348>.
- CHENG Y. – ZHOU L. – LIANG T. – MAN J. – WANG Y. – LI Y. – CHEN H. – ZHANG T. (2021): Deciphering Rhizosphere Microbiome Assembly of *Castanea henryi* in Plantation and Natural Forest. *Microorganisms* 10: 42. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010042>.
- DIMROTH P. (2004): Molecular Basis for Bacterial Growth on Citrate or Malonate. *EcoSal Plus* 1:22. <https://doi.org/10.1128/ecosalplus.3.4.6>.
- EILERS K.G. – DEBENPORT S. – ANDERSON S. – FIERER N. (2012): Digging deeper to find unique microbial communities: The strong effect of depth on the structure of bacterial and archaeal communities in soil. *Soil Biol Biochem* 50: 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.03.011>.
- FAO – UNEP (2020): The State of the World’s Forests 2020: Forests, biodiversity and people, The State of the World’s Forests (SOFO). FAO and UNEP, Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/ca8642en>.
- FIERER N. – BRADFORD M.A. – JACKSON R.B. (2007): Toward an Ecological Classification of Soil Bacteria. *Ecology* 88: 1354–1364. <https://doi.org/10.1890/05-1839>.
- FRICKER M.D. – LEE J.A. – BEBBER D.P. – TLALKA M. – HYNES J. – DARRAH P.R. – WATKINSON S.C. – BODDY L. (2008): Imaging complex nutrient dynamics in mycelial networks. *J. Microsc* 231: 317–331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2818.2008.02043.x>.
- FÜZY A. – PARÁDI I. – KELEMEN B. – KOVÁCS R. – CSERESNYÉS I. – SZILI-KOVÁCS T. – ÁRENDÁS T. – FODOR N. – TAKÁCS T. (2023): Soil biological activity after a sixty-year fertilization practice in a wheat-maize crop rotation. *PLOS ONE* 18: e0292125. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292125>.
- GAZDAG O. – KOVÁCS R. – PARÁDI I. – FÜZY A. – KÖDÖBÖCZ L. – MUCSI M. – SZILI-KOVÁCS T. – INUBUSHI K. – TAKÁCS T. (2019): Density and Diversity of Microbial Symbionts under Organic and Conventional Agricultural Management. *Microb Environ* 34: 234–243. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME18138>.
- GRAHAM C.T. – WILSON M.W. – GITTINGS T. – KELLY T.C. – IRWIN S. – QUINN J.L. – O’HALLORAN J. (2017): Implications of afforestation for bird communities: the importance of preceding land-use type. *Biodivers Conserv* 26: 3051–3071. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0987-4>.
- GUPTA S. – KUMAR M. – KUMAR J. – AHMAD V. – PANDEY R. – CHAUHAN N.S. (2017): Systemic analysis of soil microbiome deciphers anthropogenic influence on soil ecology and

- ecosystem functioning. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 14: 2229–2238. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1301-7>.
- HOLUBÍK O. – PODRÁZSKÝ V. – VOPRAVIL J. – KHEL T. – REMEŠ J. (2014): Effect of agricultural lands afforestation and tree species composition on the soil reaction, total organic carbon and nitrogen content in the uppermost mineral soil profile. *Soil and Water Research* 9: 192–200. <https://doi.org/10.17221/104/2013-SWR>.
- ILLUMINA (2023): 16S Metagenomic Sequencing Library Preparation. https://support.illumina.com/downloads/16s_metagenomic_sequencing_library_preparation.html.
- IPPC (2024): IPCC Annual Report 2023 – Protecting the world’s plant resources from pests.
- KAISER K. – WEMHEUER B. – KOROLKOW V. – WEMHEUER F. – NACKE H. – SCHÖNING I. – SCHRUMPF M. – DANIEL R. (2016): Driving forces of soil bacterial community structure, diversity, and function in temperate grasslands and forests. *Sci Rep* 6: 33696. <https://doi.org/10.1038/srep33696>.
- KEMBEL S.W. – WATERS I. – SHAY J.M. (2008): Short-term effects of cut-to-length versus full-tree harvesting on understorey plant communities and understorey-regeneration associations in Manitoba boreal forests. *For. Ecol. Manag.* 255: 1848–1858. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.006>.
- LAN J. – WANG S. – WANG J. – QI X. – LONG Q. – HUANG M. (2022): The Shift of Soil Bacterial Community After Afforestation Influence Soil Organic Carbon and Aggregate Stability in Karst Region. *Front Microbiol* 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.901126>.
- LENCINAS M.V. – MARTÍNEZ PASTUR G. – GALLO E. – CELLINI J.M. (2014): Decreasing negative impacts of harvesting over insect communities using variable retention in southern Patagonian forests. *J Insect Conserv* 18: 479–495. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9661-5>.
- LI B.-B. – ROLEY S.S. – DUNCAN D.S. – GUO J. – QUENSEN J.F. – YU H.-Q. – TIEDJE J.M. (2021): Long-term excess nitrogen fertilizer increases sensitivity of soil microbial community to seasonal change revealed by ecological network and metagenome analyses. *Soil Biol Biochem* 160: 108349. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108349>.
- LLADÓ S. – LÓPEZ-MONDÉJAR R. – BALDRÍAN P. (2017): Forest Soil Bacteria: Diversity, Involvement in Ecosystem Processes, and Response to Global Change. *Microbiol Mol Biol Rev* 81: e00063-16. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00063-16>.
- MAILLOUX R.J. – BÉRIAULT R. – LEMIRE J. – SINGH R. – CHÉNIER D.R. – HAMEL R.D. – APPANNA V.D. (2007): The Tricarboxylic Acid Cycle, an Ancient Metabolic Network with a Novel Twist. *PLOS ONE* 2: e690. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000690>.
- MEYLAN S. – PORTER C.B.M. – YANG J.H. – BELENKY P. – GUTIERREZ A. – LOBRITZ M.A. – PARK J. – KIM S.H. – MOSKOWITZ S.M. – COLLINS J.J. (2017): Carbon Sources Tune Antibiotic Susceptibility in *Pseudomonas aeruginosa* via Tricarboxylic Acid Cycle Control. *Cell Chem Biol* 24: 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2016.12.015>.
- PASCUAL J.A. – GARCIA C. – HERNANDEZ T. – MORENO J.L. – ROS M. (2000): Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biol Biochem* 32: 1877–1883. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00161-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00161-9).
- PLASSART P. – PRÉVOST-BOURÉ N.C. – UROZ S. – DEQUIEDT S. – STONE D. – CREAMER R. – GRIFFITHS R.I. – BAILEY M.J. – RANJARD L. – LEMANCEAU P. (2019): Soil parameters, land use, and geographical distance drive soil bacterial communities along a European transect. *Sci Rep* 9: 605. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36867-2>.
- R CORE TEAM (2022): R: A language and environment for statistical computing.
- RAMOND E. – GESBERT G. – RIGARD M. – DAIROU J. – DUPUIS M. – DUBAIL I. – MEIBOM K. – HENRY T. – BAREL M. – CHARBIT A. (2014): Glutamate Utilization Couples Oxidative Stress Defense and the Tricarboxylic Acid Cycle in *Francisella* Phagosomal Escape. *PLOS Pathogens* 10: e1003893. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003893>.
- ROMANOWICZ K.J. – FREEDMAN Z.B. – UPCHURCH R.A. – ARGIROFF W.A. – ZAK D.R. (2016): Active microorganisms in forest soils differ from the total community yet are shaped by the same environmental factors: the influence of pH and soil moisture. *FEMS Microb Ecol* 92: fiw149. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw149>.

- SEGURA C. – JIMÉNEZ M.N. – FERNÁNDEZ-ONDOÑO E. – NAVARRO F.B. (2021): Effects of Afforestation on Plant Diversity and Soil Quality in Semiarid SE Spain. *Forests* 12: 1730. <https://doi.org/10.3390/f12121730>.
- SMENDEROVAC E. – WEBSTER K. – CASPERSEN J. – HAZLETT P. – MORRIS D. – BASILIKO N. (2017): Does intensified boreal forest harvesting impact soil microbial community structure and function? *Can J For Res* 47. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0468>.
- UJVÁRI G. – BORSODI A.K. – MEGYES M. – MUCSI M. – SZILI-KOVÁCS T. – SZABÓ A. – SZALAI Z. – JAKAB G. – MÁRIALIGETI K. (2020): Comparison of Soil Bacterial Communities from Juvenile Maize Plants of a Long-Term Monoculture and a Natural Grassland. *Agronomy* 10: 341. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030341>.

MAGYARORSZÁGI ERDŐK TALAJÁNAK SZERVES SZÉNKÉSZLETE

Soil organic carbon stock of Hungarian forests

BIDLÓ ANDRÁS, BANADICS ADRIENN, BALÁSZ PÁL, VÉGH PÉTER
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet és természetvédelmi Intézet
bidlo.andras@uni-sopron.hu

Kivonat

Az erdőállományok egyik igen fontos ökoszisztéma szolgáltatása a szén megkötése és tárolása. A hazai erdőállományokban a szerves szén közel fele a föld feletti biomasszában, másik fele a talajban tárolódik. Utóbbi pontos mennyiségéről nagyon kevés adatunk van, ezért az adatok bővítése érdekében hazánk mintegy 210 erdőállományában végeztünk felvételeket, oly módon, hogy meghatároztuk az avarban és a talajban tárolt szerves szén mennyiségét. Ezen kívül az erdőállományokra és a termőhelyre vonatkozó egyéb adatokat is felvettünk. Vizsgálataink alapján a talajok felső 40 cm-es rétegében átlagosan 54 C t/ha szerves szén tárolódik. Ugyannakor minimális értékek (13 C t/ha) és a maximális érték (134 C t/ha) között igen nagy különbség van. A létrehozott adatbázisunk segítségével a jövőben vizsgálni kívánjuk ezen eltérés okait, hogy bővíthessük az erdőállományok szénmegkötésére és tárolására vonatkozó ismereteket, valamint validálásul szolgálhassunk az egyéb statisztikai módszerekkel becsült szerves szén tartalmi vizsgálatokhoz.

Abstract

One of the most important ecosystem services of forest stands is carbon sequestration and storage. In Hungarian forest stands, nearly half of the organic carbon is stored in above-ground biomass, and the other half in the soil. We have very little data on the exact amount of the latter, therefore, in order to expand the data, we conducted surveys in about 210 forest stands in our country, determining the amount of organic carbon stored in the litter and soil. In addition, we also recorded other data related to the forest stands and the growing site. Based on our studies, an average of 54 C t/ha of organic carbon is stored in the upper 40 cm layer of soils. At the same time, there is a very large difference between the minimum values (13 C t/ha) and the maximum value (134 C t/ha). With the help of our created database, we want to investigate the reasons for this difference in the future, in order to expand our knowledge of carbon sequestration and storage in forest stands, and to serve as a validation for organic carbon content studies estimated using other statistical methods.

Bevezetés

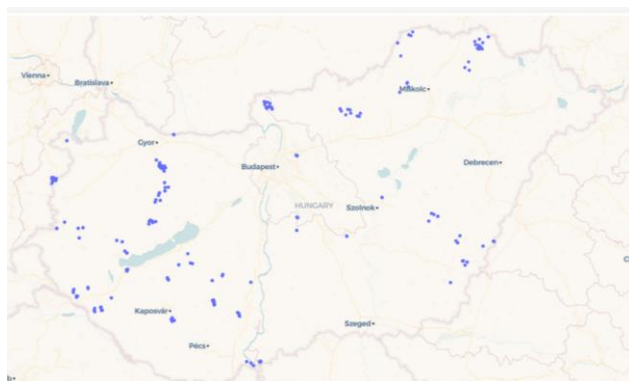
A szén biogeokémiai ciklusa a földi élet egyik alapvető folyamata (FOLEY et al., 2005, SCHLESINGER, 2017), amelyet a természeti folyamatok mellett nagyban befolyásol az emberi tevékenység is (CANADELL et al., 2007). A klímaváltozást okozó gázok között kiemelt jelentősége van CO₂-nak (IPCC, 2021), ami kiemeli a szénkörforgalom (LAL, 2004) és az ökoszisztémák szénkészletének jelentőségét (HOUGHTON, 2007). A szárazföldi ökoszisztémákban tárolt szén jelentős része a föld feletti biomasszába, míg egy másik rész a talaj szerves (pl. avartakaró) és szervetlen (ásványi talaj) alkotórészeibe van (RAICH & SCHLESINGER, 1992, NABUURS et al., 2007). Az erdészeti gyakorlatban a föld felett található biomassza mennyiségét, illetve az ezt meghatározó folyamatokat már több mint 200 éve vizsgálják (GIBBS et al., 2007), de a talajban tárolt szerves szén mennyiségéről és az ezt befolyásoló tényezőkről kevés adat áll a rendelkezésünkre (BATJES, 1996, BIDLÓ et. al. 2003).

A talaj szerves szénkészletét számos természeti és emberi tényező befolyásolja (KOVÁCS et al., 2020, TÓTH et al., 2015, BOROS et al., 2019). A termőhelyi körülmények, mint például a talaj típusai, a vízgazdálkodás, a hőmérséklet és a csapadék eloszlása meghatározza az erdei talajok szénkészletének dinamikáját. (LIU et al., 2020, KEENAN et al., 2015). Kiemelt befolyásoló tényező az erdőfelújítás módja (PUGH et al., 2019, FRIEDRICH et al., 2020), az erdőszerkezet átalakítása (CHEN et al., 2021), a fakitermelések (NUNES et al., 2022) és a gyéritések (LIU et al., 2020).

A kutatás során célunk az volt, hogy különböző termőhelyi körülmények között, eltérő fafajoknál (elsősorban hazai őshonos fafajoknál) vizsgáljuk az egyes erdőállományok talajának és avartakarójának szerves szénkészletét, illetve az ezt befolyásoló tényezőket. Ennek különösen nagy jelentősége van, mivel az erdőállományok és talajaik az egyik legfontosabb szénnyelők és tárolók, így ha az erdők szénmegkötését növelni tudjuk elősegíthetjük a klímaváltozás csökkentését. Munkánk másik célja az volt, hogy a terepen mért adatok validálásul szolgáljanak az utóbbi évtizedekben elterjedt „becsült” adatokhoz. Mivel erdőterületeken hazánkban nem történt még olyan átfogó vizsgálat, amely során meghatározták az egyes talajok szerves széntartalmát és térfogattömegét, így eredményeink ehhez is alapul szolgálhatnak.

Anyag és módszer

Munkák során olyan többletvízhatástól független középkorú-idős erdőállományú erdőrészeket választottunk ki, amelyekben a vizsgálatot megelőző évtizedben nem volt belenyúlás, illetve közel sík fekvésűek. Munkánk során próbáltunk az ország különböző erdészeti tájain mintát venni (1. ábra).



1. ábra: A mintavételi helyszínek

A mintavételt motoros talajfűrővel végeztük 1-1,1 m-es mélységig. A kiemelt bolygatatlan mintákat nem genetikai szintek szerint, hanem 10-10 centiméterenként felosztottuk, majd minden egyes szakaszba egy-egy 100 cm³ térfogatú Vér-féle hengert ütöttünk és bolygatatlan mintát vettünk. A szintenként fennmaradó talaj szolgál a további vizsgálatok elvégzéséhez. A mintavételi pontok körüli 5 méteres körzetben véletlenszerűen három helyről avarmintákat vettünk, amelyen a nyers talajfelszín felett található összes bomlásban lévő lombot, kisebb-nagyobb gallyakat értünk. A mintákat külön-külön zacskókba helyeztük, ez tehát azt jelenti, hogy minden ponton összesen 25 darab minta keletkezett. A dendrometriai vizsgálatok alkalmával a mintavételi ponttól vett 10 m-es sugarú körön belül álló faegyedek ponttól mért távolságát, mellmagassági kerületét és magasságát mértük, természetesen fafajonkénti bontásban.

A terepről begyűjtött avar és talajmintákat a Környezet- és Természetvédelmi Intézet talajtani laboratóriumában vizsgáltuk. Ennek során a Vér-hengerrel gyűjtött, ismert térfogatú (100 cm³) minta segítségével száraz tömeget határoztuk meg. A talajok kémhatását

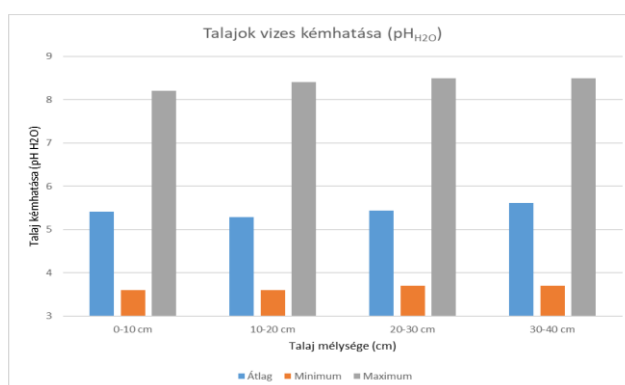
(potenciometriás mérés; desztillált vizes és KCl-os kivonattal – MSZ 08-0206-2:1978) határoztuk meg. Ezután a kalcium-karbonát- (Scheibler-féle kalciméter; MSZ 08-0205:1978) és szervesanyag-tartalmat a magyar szabvány (MSZ 21470-52:1983) szerint határoztuk meg. Ezen kívül még a szemcseeloszlás alapján vizsgáltuk a talajminták fizikai féleségét (MSZ 08-0205:1978) (BELLÉR 1997).

Adatainkat EXCEL táblázatban rögzítettük és dolgoztuk fel.

Eredmények

A következőkben – előzetes eredményként - a talajok felső 40 cm-re vonatkozó adatokat mutatjuk be.

Talajok kémhatása



2. ábra: Egyes talajrétegek vizes kémhatása

A vizsgált erdőállományokban a talajok vizes kémhatása (pH_{H2O}) 3,6 és 8,5 között volt. Az egyes rétegek átlagát a 2. ábra és az 1. táblázat tartalmazza. Az egyes rétegek átlaga (fentről lefelé haladva) 5,41, 5,24, 5,44 és 5,60 (pH_{H2O}) volt. A legtöbb szelvényben – az erdőállományoknak megfelelően – gyengén savanyú, illetve savanyú kémhatás tudunk leírni. Ugyanakkor, elsősorban a Duna-Tisza közti homokvidéken, illetve a Duna öntésén nyitott szelvényekben – az alapkőzetnek megfelelően – megjelent a gyengén lúgos kémhatású talajok is. Az erdőtalajok esetében már a felső 40 cm-es rétegen belül is megjelent a kilúgzás, amit az átlagértékek 10 cm alatti növekedése jól mutat. Mivel a legtöbb szelvényt meszes, löszös alapkőzetű területen nyitottuk, a felső szintek kilúgozódása jól mutatja az erdőállományok hatását.

1. Táblázat: Talajok vizes kémhatása az egyes rétegekben (pH_{H2O})

	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Átlag	5,41	5,28	5,44	5,61
Minimum	3,6	3,6	3,7	3,7
Maximum	8,2	8,4	8,5	8,5
Szórás	1,08	1,16	1,23	1,24

Talajok fizikai félesége

A talajok fizikai féleségének megállapítására az agyag és iszap frakció arányát vettük alapul. A hazai gyakorlatnak megfelelően agyagnak a 0,002 mm-nél kisebb, iszapnak a 0,002 és 0,02 mm közötti szemcséket vettük.

Miként a 2. táblázatból látszik az egyes rétegek között jelentős eltérés nem volt az eredményekben (2. táblázat). A bemutatott, felső 40 cm-es rétegben csak minimálisan jelent meg az

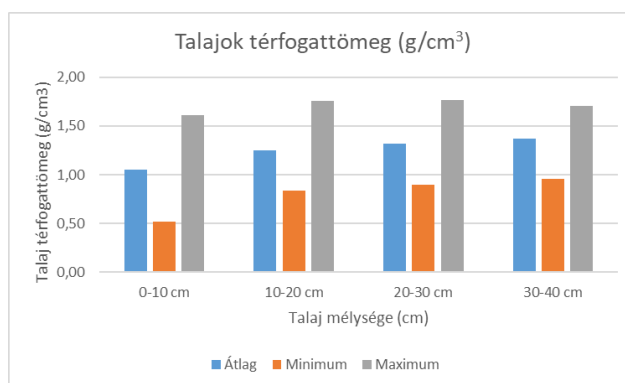
agyagfelhalmozódás jelensége, így az egyes rétegek átlaga között (fentről lefelé haladva 43,86, 45,40, 45,71 és 46,86 %) jelentős eltérést nem tapasztaltunk. Ugyanakkor jelentős eltérés volt – az elvárásoknak megfelelően – az egyes helyszínek között. A Nyírségben, a Fenyőfőn és a Duna-Tisza közén begyűjtött mintákban minimális volt a leiszapolható részek mennyisége, amely jól mutatja, hogy a talajok szemcseösszetételét, így fizikai féleségét elsősorban az alapkőzet, és annak ásványi összetétele határozza meg. Ezen területek homok alapkőzetében elsősorban kvarc szemcsékkel találkozhatunk, amelyek már fizikailag és kémiailag alig mállanak tovább, így nem képesek kisebb szemcséket képezni. Ez nagyban befolyásolja ezen területek talajának víztartókéességét is. Kedvező azonban, amit az átlag értékek is mutatnak, hogy a legtöbb vizsgált szelvényben a leiszapolható részek aránya 30 és 60 % között volt, ami vályog fizikai féleségre utal.

2. Táblázat: Talajok fizikai félesége (leiszapolható része aránya (Agyag és iszap %))

	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Átlag	43,86	45,40	45,71	46,86
Minimum	3	1	1	3
Maximum	81	83	87	89
Szórás	16,56	17,49	17,42	17,51

Talajok térfogattömege

A talajok szerves szénkészletének meghatározása során igen fontos paraméter a talajok térfogattömege. A gyakorlati termőhelyfeltárás során ezt az értéket nem szokták meghatározni, így ennek hiánya nagyban megnehezíti a szerves szénkészlet becslését. Munkánk egyik kiemelt célja volt, hogy megfelelő számban álljon rendelkezésre erdőállományokra vonatkozó térfogattömeg mérés is, mivel a mezőgazdasági adatokat erdőállományok talaja esetén csak korlátozottan tudjuk használni. Ugyanakkor a Vér-hengeres mintavételt, így a térfogattömeg meghatározást nem tudtuk minden szelvény esetén elvégezni, mivel a kavicsos-köves talajokban ez nem lehetséges.



3. ábra: Egyes talajrétegek térfogattömege (g/cm³)

Az egyes szelvényekben fentről lefelé növekvő térfogattömeget tapasztaltunk (3. ábra és 3. táblázat). A legkisebb átlaga a legfelső rétegben volt (1,053 g/cm³), míg a legnagyobb a 30-40 cm-es rétegben (1,369 g/cm³). Ez megfelel a természetes talaj rétegződésének. A felső talajréteg a leginkább kevert, bolygatott, illetve erre a felső rétegek „nyomó” hatás a nem hat. A vizsgált szelvényekben – természetesen – nem tudtuk kimutatni a mezőgazdasági talajokban tapasztalható „eketalp” réteget. A többi értékhez hasonlóan itt is jelentős különbség volt az egyes szelvények értékei között. Ugyanakkor ebben az esetben nem tudtunk egyértelmű földrajzi különbséget kimutatni, így egymáshoz közeli szelvényekben is jelentős eltérést tapasztaltunk. Ennek oka lehet az eltérő alapkőzet, a gyökerezettség, illetve a

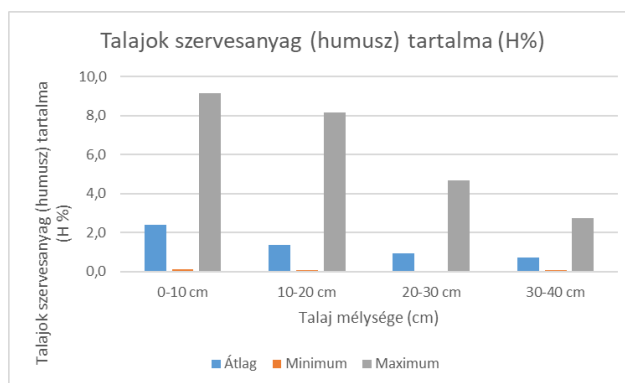
szervesanyag tartalom hatása. A térfogattömeg a természetben, míg azonos körülmények között is igen nagy változatosságot mutat.

3. Táblázat: Talajok térfogattömege (g/cm^3)

	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Átlag	1,053	1,251	1,317	1,369
Minimum	0,52	0,84	0,89	0,96
Maximum	1,61	1,76	1,77	1,70
Szórás	0,167	0,154	0,163	0,164

Talajok szervesanyag (humusz) tartalma

A talajok jelentős mennyiségben tartalmaznak szenet. E szén egy része a különböző ásványokban (pl. karbonátok) található, míg másik része a talaj élő és élettelen szerves anyagában. A talaj élettelen szervesanyag tartalmát a hazai szakirodalom „humuszként” foglalta össze, de pontosabb a talaj szerves anyag megnevezés, amit a nemzetközi szakirodalom SOM (Soil Organic Matter) néven foglal össze. Munkánkban mi is ezt a kifejezést használjuk.



4. ábra: Egyes talajrétegek szerves anyag tartalma (%)

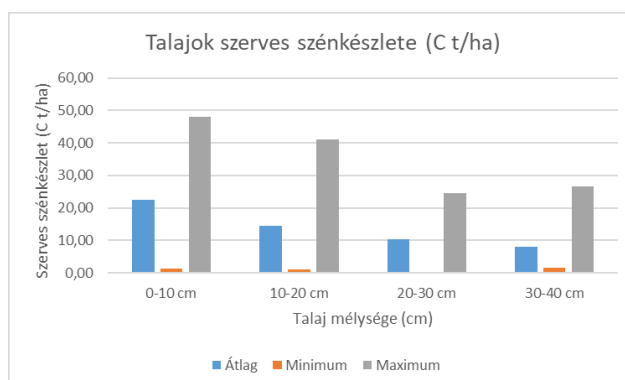
Az előzetes becsléseknek megfelelően a talajok szerves anyagtartalma az egyes rétegekben eltérő volt, fentről lefelé csökkent (4. ábra és 4. táblázat). Míg a legfelső 10 cm-es rétegben az átlag 2,383 H% volt, addig a 30-40 cm-es rétegben már csak 0,701 H%. Ez az eloszlás természetes, hiszen a szerves anyag nagy része az elhalt növényi maradványokból keletkezik (BIDLÓ et al. 2014, HORVÁTH et al. 2016). Ugyanakkor lényeges eltérést tapasztaltunk az egyes mintavételi pontok értékeiben. Az előzetes becslések alapján kisebb a szervesanyag tartalom a homoki termőhelyeken, de több helyen találtunk erodált, és ezért kisebb szervesanyag tartalmú felső szintet barna erdőtalajokon is. Érdeemes megjegyezni, hogy a minták nagy részét középkorú, illetve idős állományokban vettünk, mégis ki lehetett mutatni a korábbi erózió szervesanyag csökkentő hatását. Illetve egyes esetekben, (főleg a vad hatására) középkorú erdőállományokban is tapasztaltunk eróziós károkat.

4. Táblázat: Talajok szervesanyag (humusz) tartalma (H%)

	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Átlag	2,383	1,367	0,931	0,701
Minimum	0,11	0,08	0,02	0,06
Maximum	9,13	8,14	4,65	2,73
Szórás	1,221	0,978	0,627	0,468

Talajok szerves szénkészlete

Munkánk elsődleges célja az erdőállományok talajának szerves szénkészletének meghatározása volt. A meghatározást rétegenként végeztük el a szerves széntartalom és a térfogattömeg ismeretében.

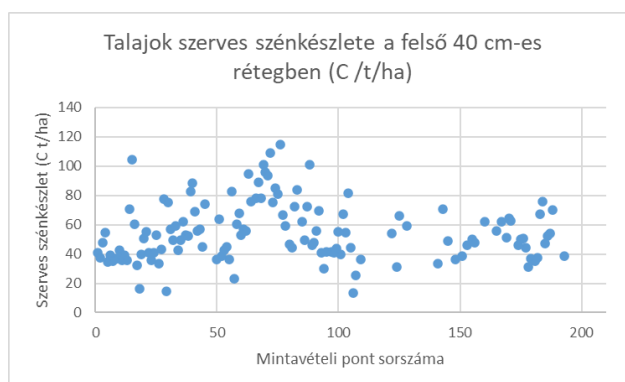


5. ábra: Egyes talajrétegek szerves szénkészlete (C t/ha)

A talajok szerves szénkészlete a legfelső 10 cm-es rétegben a legnagyobb (átlagosan 22,49 C t/ha), majd fokozatosan csökken a legalsó szintig (8,05 C t/ha) (5. ábra és 5. táblázat). A csökkenés hasonló a szerves széntartalom lefutásához, bár ahhoz képest – a növekvő térfogattömeg miatt – kisebb.

5. Táblázat: Talajok szervesanyag szénkészlete (C t/ha)

	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Átlag	22,49	14,61	10,28	8,05
Minimum	1,33	1,05	0,20	1,58
Maximum	48,02	41,19	24,61	26,67
Szórás	7,64	6,60	5,15	4,53



6. ábra: A vizsgált talajok szerves szénkészlete a felső 40 cm-es rétegben (C t/ha)

Miként az ábrából látszik az egyes mintavételi pontok között igen nagy volt a különbség, hasonlóan a szerves anyagtartalom változásához (6. ábra). A legkisebb szerves szénkészlet 13,3 C t/ha, a legnagyobb 114,9 C t/ha, az átlag 54,9 C t/ha volt. A következőkben megpróbáljuk vizsgálni, hogy melyek azok a legfontosabb tényezők, amelyek ezt a nagy különbséget okozzák és ebben milyen szerepe van az alapkőzetnek, a fafajnak, illetve a klimatikus viszonyoknak.

Következtetések

Vizsgálatunk célja az erdőállományok talajának szerves szénkészletét befolyásoló tényezők meghatározása. Ehhez egy adatbázist kívánunk létrehozni, amely a talajokra, illetve ezek szerves szénkészletére vonatkozó adatok mellett, egyéb termőhelyi és az állományra vonatkozó adatokat is tartalmaznak. E munka első eredményeiről számoltunk be a publikációban.

Eredményeinket megpróbáltuk egyéb hazai adatokkal összehasonlítani. FÜHRER et al. (2014) vizsgált cseres faállományban a föld alatti szerves szén mennyiségét 51 C t/ha-ban adta meg, ez az érték nagyon közel van az általunk meghatározott 54,9 C t/ha adathoz. FÜHRER et. al (2014) megállapítása szerint ez az összes szerves szénkészlet 30 %. Ugyanakkor eltérés, hogy ők elsősorban a derdromassza szerves széntartalmát vizsgálták. Őrségi talajokat vizsgálva hasonló eredményt (51 C t/ha) kaptunk (JUHÁSZ et. al. 2011), ugyanakkor ebben az esetben csak a felső 30 cm-es réteget vizsgáltuk és beszámítottuk a az avartakaró széntartalmát (5 C t/ha) is.

Vizsgálatuk ismét felhívja a figyelmet arra, hogy milyen nagy jelentősége van az erdők és talajaik széntároló képességének. Ugyanakkor ez a képesség a klímaváltozással jelentősen átalakulhat (FÜHRER et. al. 2005, BIDLÓ et. al. 2018).

Köszönetnyilvánítás

A kutatás során használt eszközök egy részét a „Fás biomassza termesztési feltételeinek vizsgálata - GINOP-2.3.3-15-2016-00039” projekt keretében szereztük be. Jelen publikáció a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú projekt keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium) Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A szerzők köszönetet mondanak Bolodár- Varga Bernadettnek, Harmatiné-Páll Rékának és Válint Zsuzsannának a laboratóriumi vizsgálatokért, illetve az érintett erdőgazdaságok munkatársainak a terepi munkák során nyújtott segítségért.

Irodalomjegyzék

- BATJES, N. H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47(2):151-163.
- BELLÉR P. (1997): Talajvizsgáló módszerek.
- BIDLÓ A. – HORVÁTH A. (2018): Talajok szerepe a klímaváltozásban. *Erdészettudományi Közlemények*, 2018. 8. évf. 1. szám, 57-71 p.
- BIDLÓ, A. - KOVÁCS, G. - HEIL, B. (2003): A magyarországi erdészeti termőhely-osztályozás és ennek problémái in: Gaál Zoltán (szerk): Földminősítés és földhasználati információ a mezőgazdaság versenyképességének javításáért, Veszprémi Egyetem, Keszthely, Magyarország, pp. 115-124.
- BIDLÓ, A. - SZŰCS, P. - HORVÁTH, A. - KIRÁLY, É. - HOFMANN, E. (2014). Telepített kocsánytalan tölgy és akác fiatalosok hatása a talaj szénkészletére néhány dunántúli erdőtelepítés példáján. *Erdészettudományi Közlemények*, 4(2.), 121-133.
- BOROS, G. - KOVÁCS, B. - ÓDOR, P. (2019). Green tree retention enhances negative short-term effects of clear-cutting on enchytraeid assemblages in a temperate forest. *Applied Soil Ecology* 136:106-115.
- CANADELL, J. G., et al. (2007). The global carbon cycle: A test of our knowledge of Earth as a system. *Science*, 292(5515):2315-2322.
- CHEN, H. - XU, L. - LIU, S. (2021). The role of tree species diversity in soil carbon sequestration in temperate forests: A global meta-analysis. *Global Change Biology*, 27(4):1122-1133.
- FOLEY, J. A., et al. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.

- FRIEDRICH, T. - BLACKWOOD, D. - KRÖGER, J. (2020). Assessing the impact of forest management on carbon sequestration in the face of climate change. *Forest Ecology and Management*, 475:118341.
- FÜHRER E- CSIHA I. - SZABADOS I. - PÖDÖR Z. - JAGODICS A. (2014): Egy cseres faállomány föld feletti és föld alatt szerves-anyagának meghatározása. *Erdészettudományi Közlemények*, 2014. 4. évf. 2. szám., 109-119. p
- FÜHRER E. - MÁTYÁS CS. (2005). A klímaváltozás hatása a hazai erdők szénmegkötő képességére. *Magyar Tudomány*, 2005. 7. szám. 837-841 p
- GIBBS, H. K., et al. (2007). Tropical forests and climate change. *Science*, 314(5801):1456-1459.
- HORVÁTH A. – BENE ZS. – BIDLÓ A. (2016): Comparison of the carbon stock in forest soil of sessile oak and beech forests. EGU 2016. Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU2016-14487.
- HOUGHTON, R. A. (2007). Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35(1), 313-347.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- JUHÁSZ P. - BIDLÓ A. - ÓDOR P. - HEIL B. - KOVÁCS G. (2011): Őrségi talajok széntartalmi vizsgálata. *Talajvédelem*, 2011. 377-382 p
- KEENAN, R. J. - REAMS, G. A. - ACHARD, F. (2015). Forest carbon stocks and their management under climate change: A global synthesis. *Environmental Research Letters*, 10(11), 114003.
- KOVÁCS, J. - NAGY, B. - SZILÁGYI, J. (2021). Soil structure and biodiversity changes after forest establishment. *Ecological Engineering*, 169:106284. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106284>
- LAL, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677):623-1627.
- LIU, Y. - ZHANG, X. - WANG, Y. (2020). Influence of management practices on soil organic carbon stock in temperate forests of China. *Geoderma*, 373, 114380.
- NABUURS, G. J., et al. (2007). Forests and carbon sinks. *Science*, 316(5827), 321-322.
- NUNES, R. L. - SILVA, J. D. - SOARES, M. L. (2022). Soil carbon stocks and management practices in temperate forests: A review. *Forest Ecology and Management*, 498:119-131.
- PUGH, T. A. M. - LUYSSAERT, S. - SITCH, S. (2019). The carbon balance of the world's forests. *Nature Communications*, 10, 1-10.
- RAICH, J. W. - SCHLESINGER, W. H. (1992). The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 44(2), 81-99.
- SCHLESINGER, W. H. (2017). *The Carbon Cycle: Earth's Interwoven Systems of Life and Climate*. Princeton University Press
- TÓTH, G. - SZABÓ, A. - KÁLLAI, L. (2015). Effect of land use change on soil carbon stocks in forested areas of Hungary. *Agricultural Ecosystems & Environment*, 207:138-147. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.006>

A TÁRGYTERVEZÉS ÉS A KÖRNYEZETVÉDELEM KAPCSOLATA

The Relationship Between Product Design and Environmental Protection

BODORKÓS DÁNIEL*¹, ZALAVÁRI JÓZSEF¹, HORVÁTH PÉTER GYÖRGY¹

¹Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar Kreatívipari Intézet, Sopron, Magyarország

BodorkosDaniel@phd.uni-sopron.hu

Absztrakt

A jelenlegi metamodern korunkban a fenntarthatóság és az ökoszisztéma védelme kiemelten fontos tényező, mely nemcsak egy trend, hanem szakmai és etikai felelősség. A faalapú termékek vonatkozásában, a tárgytervezésben a designerek szerepvállalása is kulcsfontosságú. A termékekről elmondható, hogy a tervezési döntések a termék életciklusának jelentős hányadát meghatározzák környezeti szempontból. A valóban minőségi design az esztétikai és a hozzárendelt funkciókkal szinergiát alkot az ökodezignnal, mely a tervezés során figyelembe veszi a szimbiotikus ökoszisztémákat és a környezetet kímélő lehetőségeket. E módszereket adaptálja a tervezésbe és a kivitelezésbe, hogy a bölcsőtől a bölcsőig elv érvényesüljön a termék teljes tervezett életciklusában. A tárgy- és formatervezés által létrehozott termék az ökoetikus szemlélet alkalmazásával elősegíti az újrahasznosítás folyamatát és a moduláris bővíthetőséget. A komponensek cserélhetősége és javíthatósága jelentősen meghosszabbítja a bútorok élettartamát. Jelen írásunkban e összefüggések kerülnek meghatározásra a tárgytervezés és a környezetvédelem kapcsolatán belül.

Abstract

In our current metamodern era, sustainability and the protection of ecosystems are factors of paramount importance; they are not merely trends, but professional and ethical responsibilities. In the context of wood-based products, particularly within object and product design, the role and responsibility of designers are also crucial. It can be stated that design decisions determine a significant proportion of a product's environmental impact over its entire life cycle. Truly high-quality design creates a synergy between aesthetics and associated functions with eco-design, which, during the design process, takes into account symbiotic ecosystems and environmentally considerate solutions. These methods are integrated into both design and production in order to ensure that the cradle-to-cradle principle is upheld throughout the product's entire planned life cycle. Products created through object and form design, by applying an eco-ethical approach, facilitate the processes of recycling and modular expandability. The interchangeability and repairability of components significantly extend the lifespan of furniture. This paper examines and defines these interrelationships within the context of object design and environmental protection.

Bevezetés

A metamodern kor a design és a fenntarthatóság metszetében olyan gondolkodási keretként írható le, amely a modernizmus megoldásközpontú racionalitását és a posztmodern kritikai reflexióját egyszerre működteti (Vermeulen & van den Akker, 2010; Stoev, 2022). Ebben a felfogásban a tervezés nem abszolút válaszokat ad a környezeti válságra, hanem tudatosan vállalja a bizonytalanságot és az állandó újraértékelést (van den Akker et al., 2017). A fenntarthatóság így nem címke vagy marketingállítás, hanem folyamatosan vizsgált kapcsolat az anyag, a gyártás, a használat és a társadalmi jelentés között (Bertola, 2024). A metamodern design hisz abban, hogy a tárgyak képesek pozitív változást előidézni, miközben tisztában van azzal, hogy minden megoldás kompromisszumokra épül. Ez a kettősség különösen

hangsúlyos az anyaghasználatban, ahol a faalapú és az ökoanyagok nem idealizált „zöld” szimbólumként jelennek meg, hanem komplex életciklussal rendelkező erőforrásként.

A tervező feladata nem az anyag tökéletességének adaptálása, hanem annak őszinte, a termékben történő bemutatása. A metamodern fenntartható design ezért szorosan kapcsolódik az életciklus-elemzéshez és a körkörös gazdasági modellekhez (Bocken et al., 2016). Ezeket azonban nem pusztán műszaki eszközként kezeli, hanem kulturális és tervezői döntések alapjaként (Stoev, 2022). A körköröségek ebben a kontextusban nem csak az újrahasznosíthatóságot jelenti, hanem a javíthatóságot, az átalakíthatóságot és a hosszú használati időt is. E design szemlélet törekszik arra, hogy a felhasználó érzelmi kapcsolatot alakítson ki a tárggyal, mert ez a kapcsolat csökkenti a gyors elhasználódást és a lecserélés igényét (Chapman, 2005). Esztétikai szempontból ez az irányzat elutasítja mind a modernista rideg funkcionalizmust, mind a posztmodern ironikus távolságtartást (Vermeulen & van den Akker, 2010). Helyettük egy őszinte, strukturálisan érthető, ugyanakkor lírai és emberközeli formanyelvet alkalmaz.

A fenntarthatóság így nem láthatatlan technológiai háttérként működik, hanem a tárgy jelentésének szerves részévé válik. Fontos jellemző a transzparencia, amely a gyártási folyamatok, az anyagválasztás és a környezeti hatások kommunikációjában is megjelenik (Manzini, 2015). Ez a transzparencia bizalmat épít a felhasználó és a tervezett tárgy között. E szemléletben a tervező nem mindentudó alkotó, hanem felelős közvetítő az ipar, a környezet és a társadalom között (Fry, 2011). A design folyamata ezért nyitott, iteratív és tanulás orientált. A fenntarthatóság ebben az értelemben nem végcél, hanem irány, amely folyamatos korrekciót igényel (Bocken et al., 2016). A metamodern kor designja egyszerre kritikus és reményteli, mert felismeri a válság mélységét, mégis cselekvésre ösztönöz (Stoev, 2022). Így a metamodern fenntartható design olyan tárgyi és rendszerszintű megoldásokat hoz létre, amelyek hosszú távon értelmezhetők, etikailag megalapozottak és kulturálisan relevánsak (Vermeulen & van den Akker, 2010).

Irodalmi áttekintés

A környezetvédelem és a tárgytervezés vonatkozásában kiemelten fontos tényező, hogy a rendelkezésre álló szakirodalmi tudást felhasználva definiáljuk és rendszerezzük azokat a tényezőket, melyek meghatározzák e két területet. Az oikosz (környezet) és a logosz (tudomány) szavak összevonásából eredeztethető az ökológia, vagyis a környezettan kifejezés. Ahhoz, hogy a környezetet megtudjuk védeni a különböző, károsító behatásoktól tudnunk kell, hogy mit értünk e fogalom alatt. A teljesség igénye nélkül törekszünk egy átfogó képet alkotni e definícióról. A környezettan, ökológia kifejezést először a német biológus, Ernst Haeckel alkalmazta 1866-ban (Gazdag, 2018). Az ökológia „az élőlények életközössége, és környezetük kölcsönhatásával foglalkozó tudomány. Ebben az is benne van, hogy nem az egyes élő egyedekkel, hanem azok populációival foglalkozik.”

Az ökológiának a legmagasabb szintű eleme a bioszféra, vagy másnéven ökoszféra, amely a Földet körülvevő vékony burok, amelyben az élethez szükséges feltételek adottak. A bolygónk történetében a legkevesebb változást hozó korszaka a Holocén volt. A globális átlaghőmérséklet 10.000 éven át nem csökkent vagy növekedett egyetlen Celsius-fokot meghaladó mértékben. Nem tudjuk, hogy ez a stabilitás minek volt köszönhető, de kétségkívül köze volt hozzá az élővilág hallatlan gazdagságának és változatosságának is. Sűrű erdőségek nagy mennyiségű szén-dioxidot kötöttek meg, ehhez hozzájárulva az üvegházhatású gázok alacsony szinten való tartásához. A tengerpartok mentén a mangrove mocsarak és a korallszirtek védett helyet kínáltak a halivadékoknak. Az egyenlítő mentén a burjánzó, buja esőerdők hasznosították a nap energiáját és vízpárával és oxigénnel telítették a globális légáramlatokat. Az Északi és Déli-sarkvidék jégapokái visszaverték a napsugarakat és hűtötték a

bolygót, mint egy gigantikus klímaberendezés. A holocént nevezhetjük az emberiség édenkertjének is (Attenborough, 2022). Ez a stabilitás a 21. századra kezd felborulni, különböző komplex problémák adódnak a szimbiotikus ökoszisztémák vonatkozásában.

A faalapú termékekhez kapcsolódóan az agrár szektorban is jelentkeznek a megoldandó, olykor kritikus mértékű problémák. A talaj erózióval szimultán, az erdők sorsáról is fontos beszélni. „Nemcsak a fajok, hanem erdeink is fogynak, a FAO szerint évente 14,5 millió hektárral van belőlük kevesebb (Horváth, 2019).” Ez a helyzet azért is aggasztó, mivel a szárazföldi fajok jelentős, mintegy 50-90%-a erdőben él (Somogyi, 2003). E jelenség nem újkeletű probléma. „Közép- és Nyugat-Európa nagy erdőirtása az 1050-et követő 200 esztendőben ment végbe, azóta erdőkkel alig rendelkezünk (Horváth, 2019).” A FAO megállapítása alapján az 1990-es adatok szerint a trópusi esőerdők 78%-át birtokló 62 ország erdőterülete összesen 16,8 millió hektárral csökkent, a 2003-ban 24.000 km² amazóniai esőerdő veszett el, részben azért, hogy a faanyag eladása mellett a felszabadult területek eladásából is nyerészkedjenek, melyeket az európai élelmiszerpiac kielégítésére fordítottak, mint szarvasmarha legelők, telepek és szója földek (Wright, 2005).

Egy 2010-ben publikált jelentés viszont arról számolt be, hogy a „kilencvenes években produkált évi 16 millió hektáros erdővesztés az új évezredre évi 13 millió hektárra csökkent” (Horváth, 2019). Az erdő területek kisebb mértékűre történő visszaesése azzal is magyarázható, hogy a kivágott, kitermelt területekre „új” erdőket telepítenek. Ilyen példa erre Kína, ahol 2000 és 2005 között 4 millió hektárnyi „erdőt” telepített (Rakonczai, 2008). Magyarország erdősültségei a KSH 2024-es adatai alapján 21,1 %, mely a 2017-es 20,9-es százalékos adat alapján növekedést mutat. E adatokból leolvasható, hogy Magyarországon az erdőtelepítés 3251 hektárt, az erdőfelújítás pedig 20219 hektárt tett ki (KSH). A környezetvédelem definíciója „A környezet védelmének fogalmi eleme maga a környezet, amit védelem illet. A környezet alatt tulajdonképpen a bioszférát felépítő ökoszisztéma és az ember alkotta élettelen elemeknek együttese értendő. Az ökoszisztémát együttesen alkotja a talaj, a víz, a levegő és az élőlények, köztük az ember is (SZTE)”

A fenntarthatóság elemzése és gyakorlati alkalmazása napjainkban alapvető jelentőségű kérdés. A modern társadalmak számára egyszerre jelent kihívást és felelősséget, amelynek figyelmen kívül hagyása hosszú távon súlyos következményekkel járhat. A fenntarthatóság olyan társadalmi, gazdasági és környezeti szemléletet foglal magában, amely a jelen igényeinek kielégítését úgy teszi lehetővé, hogy közben nem veszélyezteti a jövő generációk lehetőségeit saját szükségleteik teljesítésére. Ennek a megközelítésnek kulcsfontosságú elemei közé tartozik a természeti erőforrások tudatos és felelős használata, az ökológiai egyensúly megőrzése, a társadalmi igazságosság és az esélyegyenlőség erősítése, valamint a gazdasági fejlődés hosszú távon is fenntartható formáinak kialakítása (UN).

Módszertan

A környezetvédelem és a bútortervezés kapcsolata ma fontosabb, mint valaha, hiszen a tervezési döntések jelentős hatással vannak a természeti erőforrásokra és az ökológiai lábnyomra. A tudatos anyaghasználat, a hosszú élettartamra tervezés és a körforgásos szemlélet lehetőséget ad arra, hogy a bútorok ne csak funkcionálisak és esztétikusak, hanem fenntarthatóak is legyenek. A környezetbarát bútortervezés így nem korlátot, hanem inspirációt jelent az innovatív és felelős alkotás számára. A termékekkel és a tervezéssel kapcsolatban megállapítható, hogy „egy termék környezetre gyakorolt hatása ugyanis 80 százalékban már a tervezés során eldől (Ji Han, 2021 és Jeránek, 2023).” A designerek fontos feladata az, hogy olyan termékeket és tárgyakat tervezzenek, melyek etikusan és fenntarthatóan vannak jelen. Ehhez kapcsolódóan azt a kérdést kell megvizsgálni, hogy mitől vagy miktől válik egy

design jóvá? Dieter Rams e témában tett releváns megállapításokat, melyeket „A jó design” axiómáiként tartanak számon.

A tervezés egy innovatív problémamegoldásként definiálható, amelyet az alkalmazott tudományok és az alkalmazott művészetek szintézise foglal egységbe (Géczy, 2019). Naum Gabo szobrászati megnyilvánulásaihoz hasonlóan a tervezési munka nyitott mű (Eco, 1998), amely azt jelenti, hogy bármikor továbbfejleszhető. Amikor egy ötlet manifesztálódik egy termékben az nem a végeredménynek tekinthető, hanem „tökéletes idea prototípusa”, amely folyamatosan módosítható, tesztelhető, felülírható és upgradelhető. A jó design a fenntarthatósági szempontokkal szimultán etikus, mely azt jelenti, hogy hitelesen alkalmazkodik a globális, szociális és kulturális, technológiai, ipari és gazdasági rendszerekbe.

Az alapanyagok kiválasztásában kiemelten fontos tényező a minél kisebb ökológiai lábnyom, mely a körkörös gazdaságban jut érvényre, mindemellett karbantartható, javítható és cserélhető. A karbantartás és javíthatóság tekintetében különféle mozgalmak és kampányok léteznek, melyek arra törekednek, hogy a termékek életciklusát minél jobban meghosszabbítsák e kezdeményezésekkel, mint például a modulrendszerben történő tervezés. A modulrendszerben történő tervezés, alkotás és ipari, gyártási technológia egy rendkívül lényeges eleme a fenntartható, pazarlásmentes optimalizált anyagfelhasználásnak. E mechanizmus a termékek széles skáláján alkalmazható, az autóiipari példát tekintve például a Volkswagen, VAG GROUP portfóliója egyes GOLF-OCTAVIA, PASSAT-SUPERB, GOLF-TT modellek esetében. E optimalizációs módszer a faalapú bútorok vonatkozásában is aktívan jelen van. Jó példa erre a házigyári lakások és az azokban tömegesen előállított és beszerelt mobiliák, bútorok.

A bútorok esetében a rendszer alapú tervezés figyelhető meg, mely az 1960-as évekre tehető és a „system” a jelenlegi metamodern korunkban is kortárs tényezőként van jelen. A modern gyártási technológiák, melyek már kiterjed mesterséges intelligencia vezérléssel és támogatással vannak ellátva lehetővé teszik az alapanyagok követése mellett (EUDR) a minél hatékonyabb alapanyagfelhasználást (nesting, szabástervek) és a különböző alkatrészek/elemek csoportosítását. E csoportosítás, úgynevezett családokat, elemkészleteket hoz létre, hasonlóan a Lego kockákhoz egy-egy elem más elemmel is összekapcsolható, variábilis megoldások jöhetnek létre. E variábilis megoldások rendkívül hasznosak a jelenleg kialakult lakhatási és megélhetési körülményekhez. A mobilitás és gyors átszervezhetőség szinte már alapelveként van jelen a tervezett tárgyi környezetünkben. Mely szintén a jó design elveit támogatja azáltal, hogy a felhasználók valódi igényeire keres és tesz javaslatokat. *„Tiszteli a felhasználót, az embert és a közösséget, ismeri a fizikai és lelki szükségleteit, igényeit, határait. A tervező a felhasználó nézőpontjába helyezkedve önprojekciót végez, és a saját érzelmeit, gondolatát a világról építi működő formába (Géczy, 2019).”*

Környezettudatos tervezés

A környezetkárosító mechanizmusok és tevékenységek a modern ember DNS-ébe vannak kódolva. Ez a feltételezés abból eredeztethető, hogy a Föld eltartóképességének lehetetlen fedezni csak a természetes javakból történő ellátását élelemmel és energiával táplálni. Jelen esetben, 2025 decemberi adatok alapján a bolygónk népessége 8,2 milliárd fő és ez az adat folyamatos növekedésben van. A modern mozgalmak, melyek a környezetvédelmet emelték be fő hatáskörükbe az 1972-es években a nemzetközi olajválsággal egyidőben jelentek meg (Horváth, 2018). De a válság enyhülésével a *„megoldások keresése, a környezeti erőforrások felelősségteljes és átgondolt használata, valamint a megújuló energia és a fenntarthatóság rendszerorientált tervezési megoldásainak kérdése nagyjából a kulturális diskurzus szintjén maradt (Géczy, 2019).”* A design, mintegy keresztútban helyezkedett el az ökológia és a közgazdaságban, ezzel szimultán a környezeti szempontok etikai kérdéseivel is. E

tényezőket ismerve a design sikeresnek könyvelhető el, ha minimális ökológiai lábnyommal rendelkezik vagy a technológiai ciklusba (körforgásos gazdaság) minimális veszteséggel visszaforgatható.

A 21. században az a tendencia figyelhető meg, hogy a felhasználók minél jobban számonkérnek a termékeken és a tervezőkön, hogy mennyire felel meg az adott termék a „zöld design” kritérium rendszerének. A vevők lassan rádöbbennek arra, hogy a termékkel együtt nemcsak egy dolgot, javat vásárolnak, hanem egy kockázatot is abból a szempontból, hogy felelősséggel tartoznak, hogy a termék életciklusa végén „hulladékként” bele vagy visszakerüljön a körforgásos rendszerbe. A hulladékok kezelése és rendszerezése viszont egyre komplexebb és emiatt egyre nagyobb problémát és költségeket igényel a kezelésük. A határozott paradigmaváltásra csak a felhasználói oldal bevonásával és az ipar, gazdaság és a politikai döntéshozók közre- és együttműködéseként kerülhet sor. *„A fenntarthatóság a szociálisan érzékeny designszemlélet vezérfonala (Géczy, 2019)”*.

A termékek hulladékkezelésénél az elavulást kell kiemelni, mikor egy termék életciklusa végére ér. A termék életciklusa egy lényeges elem, hogy hogyan van jelen, mi történik vele, ha elavulttá válik. E tényező a tervező és a gyártó részéről is felelősséget kíván. Környezeti és ökológiai szempontokból sem elhanyagolható a termék elavulási ideje. A használatból eredeztethető fizikai és esztétikai avulás jelen van tervezett és épített környezetünkben, az épületek, járművek, egyéb használati termékek vonatkozásában. Ahogyan az, hogy mennyire fenntartható egy termék, úgy az elavulás ideje és mértéke is a tervező asztalon dől el. Ezért a designereknek, mint edukátoroknak kell lenniük, hogy széles körben elterjedjen ez a módszertan a gyártók, a gazdaság, a felhasználók körében, egy influenszer stratégiát kell alkalmazni e ESG (környezet, társadalom és gazdaság/vállalat irányítás) és ökodesign szempontok érvényre juttatására. A tervezők hozzáállása jelenleg pozitív irányba halad.

A fenntarthatóság és a zöld tervezés a kortárs designgyakorlat központi paradigmáivá váltak, amelyek újra értelmezik a tervezők társadalmi és környezeti felelősségét (Papanek, 1971). A designerek kulcsszerepet töltenek be az erőforrás-hatékonyság növelésében azáltal, hogy az anyagválasztást, az élettartam-növelést és a javíthatóságot már a koncepcióalkotás korai szakaszában integrálják (Ashby, 2013). A zöld tervezési elvek alkalmazása csökkenti a termékek teljes életciklusára vetített környezeti terhelést, amit életciklus-elemzési módszerek is alátámasztanak (ISO 14040, 2006). A körforgásos gazdaság szemlélete lehetővé teszi a zárt anyagáramok kialakítását, elősegítve az újra használatot, az újra gyártást és az újrahasznosítást (Ellen MacArthur Foundation, 2015). A fenntartható design továbbá innovációt ösztönöz, mivel a korlátozott erőforrások kreatív megoldásokat és alternatív anyagok alkalmazását teszik szükségessé (Braungart & McDonough, 2002).

A tervezési folyamat során olyan szemléletet alkalmaztunk, amelynek elsődleges célja a hulladékképződés minimalizálása és az anyagfelhasználás optimalizálása. Egy konkrét asztalosipari vállalat vizsgálata során megállapítottuk, hogy a lapszabászati folyamatok következtében jelentős mennyiségű, nagy kiterjedésű hulladékanyag keletkezik. E felismerés alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy ezen melléktermékek megfelelő tervezési stratégiák alkalmazásával más termékekbe integrálhatók. A kutatás keretében egy székként megvalósuló prototípust készítettünk, amely kizárólag olyan alkatrészekből és anyagokból állt, amelyek az újra felhasználás, az optimalizált gyártás és a tudatos tervezés eredményeként jöttek létre. A kialakított tervezési szemlélet a későbbi munkák során is alkalmazásra került: más bútorigipari és belsőépítészeti tervezési folyamatokban is tudatosan törekedtünk arra, hogy a keletkező melléktermékeket értékes, funkcionális elemekké alakítsuk, ezáltal csökkentve a hulladék mennyiségét és növelve a gyártási hatékonyságot. Bár a beavatkozás kezdetben kis léptékű volt, a tapasztalatok folyamatos adaptálása és továbbfejlesztése

hozzájárult egy strukturáltabb, fenntarthatóbb és iparilag is hatékonyabb gyártási gyakorlat kialakításához, amely hosszabb távon meghatározó tervezési alapelvvé vált. A felhasználóközpontú megközelítés és a tartósság hangsúlyozása hozzájárul a túlzott fogyasztás mérsékléséhez és a termékek érzelmi értékének növeléséhez (Chapman, 2015). Gazdasági szempontból a zöld tervezés versenyelőnyt biztosíthat, mivel a fenntartható termékek iránti kereslet folyamatosan növekszik (Porter & van der Linde, 1995). A designerek által közvetített értékek és narratívák képesek formálni a fogyasztói attitűdöket és elősegíteni a környezettudatos viselkedést (Thackara, 2005). Az interdiszciplináris együttműködések, például a mérnöki és környezettudományi területekkel, növelik a fenntartható megoldások hatékonyságát és hitelességét (Manzini, 2015). A zöld tervezés etikai dimenziója hangsúlyozza a jövő generációk érdekeinek figyelembevételét a jelenlegi döntéshozatalban (WCED, 1987). Az oktatás és a kutatás integrálása a designgyakorlatba elősegíti a bizonyítékalapú tervezést és a mérhető környezeti eredményeket (Bhamra & Lofthouse, 2016). Összességében a fenntartható és zöld tervezés a designerek számára nem csupán korlátozásokat, hanem jelentős szakmai, társadalmi és környezeti lehetőségeket is kínál.

Összegzés

A tárgy- és bútortervezés területén a tervezési döntések meghatározó módon befolyásolják a termékek teljes életciklusát, különösen a faalapú anyagok esetében. A környezettudatos tervezés az öko-design, a körforgásos gazdaság és a bölcsőtől bölcsőig szemlélet integrálásával képes csökkenteni az ökológiai terhelést és meghosszabbítani a termékek használati idejét. A moduláris felépítés, a javíthatóság és a komponensek cserélhetősége nemcsak technikai, hanem etikai kérdésként is értelmezhető. A design ebben az értelemben közvetítő szerepet tölt be az ipar, a környezet és a társadalom között. A fenntartható design innovációt generál, miközben reflektál a globális környezeti válság komplexitására és bizonytalanságaira. A felhasználók bevonása és edukálása kulcsfontosságú a környezettudatos termékek elfogadásában és hosszú távú használatában. A transzparens anyaghasználat és gyártási folyamatok erősítik a bizalmat a tervezett tárgy és a használó között. A zöld tervezés gazdasági szempontból is releváns, mivel versenyelőnyt és hosszú távú fenntarthatóságot biztosít. Összességében a metamodern fenntartható design olyan etikus és adaptív megoldásokat kínál, amelyek a környezeti felelősségvállalást a kortárs designkultúra szerves részévé teszik.

Irodalomjegyzék

- ANDREA REMÉNYI (2023): Fenntarthatóság és design kapcsolata a hazai bútorgyártásban <https://doi.org/10.21637/GT.2022.4.02> Gazdaság & Társadalom, 15. (33.) évfolyam, 4. szám (2022) [Utolsó letöltés: 2025.12.17.]
- ASHBY, M. (2013): *Materials and the Environment*. Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-12-385971-6
- BERTOLA, PAOLA. (2024): "Designing Sustainability Today: An Analytical Framework for Sustainable Design." *Sustainability* 16 (8): 3240. <https://doi.org/10.3390/su16083240> [Utolsó letöltés: 2025.12.22.]
- BHAMRA, T., & LOFTHOUSE, V. (2016): *Design for Sustainability*. Routledge. https://www.researchgate.net/publication/303911078_Design_for_Sustainability
- BOCKEN, NANCY M.- P.INGRID DE PAUW. - CONNY BAKKER, AND BRAM VAN DER GRINTEN. (2016): "Product Design and Business Model Strategies for a Circular Economy." *Journal of Industrial and Production Engineering* 33 (5): 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124> [Utolsó letöltés: 2025.12.22.]
- BRAUNGART, M., & MCDONOUGH, W. (2007): *Bölcsőtől bölcsőig*. HVG kiadói Rt. ISBN 2310009786194
- BRIAN BALDASSARRE. - DUYGU KESKIN. - JAN CAREL DIEHL. - NANCY BOCKEN. - GIULIA CALABRETTA (2020): *Implementing sustainable design theory in business practice: A call to action*

- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123113> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620331589?via%3Dihub> [Utolsó letöltés: 2025.12.18.]
- BRIAN BALDASSARRE - GIULIA CALABRETTA - INGO OSWALD KARPEN. - NANCY BOCKEN & ERIK JAN HULTINK (2024): Responsible Design Thinking for Sustainable Development: Critical Literature Review, New Conceptual Framework, and Research Agenda <https://link.springer.com/article/10.1007/s10551-023-05600-z> [Utolsó letöltés: 2025.12.18.]
- BUCHANAN, RICHARD. (2001): "Design Research and the New Learning." *Design Issues* 17 (4): 3–23. <https://www.ida.liu.se/~steho87/desres/buchanan.pdf> [Utolsó letöltés: 2025.12.22.]
- CHAPMAN, J. (2015): Emotionally Durable Design. Routledge. <https://www.researchgate.net/publication/286752949> *Emotionally durable design Objects experiences and empathy* [Utolsó letöltés: 2025.10.05.]
- CHAPMAN, JONATHAN. (2005): *Emotionally Durable Design: Objects, Experiences and Empathy*. London: Earthscan. DOI:10.4324/9781849771092
- DAVID ATTENBOROUGH (2022): Egy élet a bolygónkon - A szemtanú vallomása - és látomás a Föld jövőjéről. Park könyvkiadó. ISBN 9789633558720
- DINA STOEV (2022): Metamodernism or Metamodernity, National Academy of Art, 1000 SOFIA, Bulgaria, <https://www.mdpi.com/20760752/11/5/91> <https://doi.org/10.3390/arts11050091> [Utolsó letöltés: 2025.12.15.]
- SZINTAY ISTVÁN - BERÉNYI LÁSZLÓ - TÓTHNÉ KISS ANETT (2011): Minőségügy alapjai, Miskolci Egyetem Vezetéstudományi Intézet, <http://www.szervez.uni-miskolc.hu/blaci/minmen/index.html> [Utolsó letöltés: 2025.11.23.]
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). (2019): *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*. Cowes: Ellen MacArthur Foundation. https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/emf_completing_the_picture.pdf
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. (2015): Towards the Circular Economy. <https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/4384c08da576329c/original/Towards-a-circular-economy-Business-rationale-for-an-accelerated-transition.pdf> [Utolsó letöltés: 2025.12.05.]
- ESCOBAR, ARTURO. (2018): *Designs for the Pluriverse: Radical Interdependence, Autonomy, and the Making of Worlds*. Durham, NC: Duke University Press. DOI: <https://doi.org/10.1215/9780822371816>
- EUROPEAN COMMISSION (2023): EU Deforestation Regulation – Implementation and Due Diligence. [Utolsó letöltés: 2026.01.01.] [https://environment.ec.europa.eu/topics/forests/deforestation_en]
- FRY, TONY. (2011): *Design as Politics*. Oxford: Berg. <http://dx.doi.org/10.2752/089279313X13968799815958> [Utolsó letöltés: 2025.12.22.]
- FSC (2024): What's in a label? [Utolsó letöltés: 2026.01.01.] [<https://fsc.org/en/label>]
- GAZDAG LÁSZLÓ (2018): Környezetgazdaságtan, környezetgazdálkodás. Kossuth Kiadó. ISBN 9789630990158
- GELENCSÉR ANDRÁS (2023): Ábrándok bővületében. Akadémiai Kiadó Zrt, EAN 9789634548997
- GÖZDE KIZILKAN. - FERIDE PINAR ARABACIOĞLU (2024): Metamodernism Unveiled: A Contemporary Aftereffect in Architecture <https://doi.org/10.48066/kusob.1426160> <https://dergipark.org.tr/en/pub/kusob/article/1426160> [Utolsó letöltés: 2025.12.15.]
- HORVÁTH BALÁZS (2019): A beteg bolygó - A fenntarthatatlanság és a betegség kultúrtörténete. Typotex kiadó. ISBN 9789634930617
- ISO 14040. (2006): Life Cycle Assessment – Principles and Framework. <https://www.cscses.com/uploads/2016328/20160328110518251825.pdf> [Utolsó letöltés: 2025.11.13.]
- JEM BENDELL ÉS RUPERT READ 2021, Hungarian translation Stumpf-Bíró Balázs (2023): Mélyalkalmazkodás Eligazodás az éghajlati káosz valóságában, L'Harmattan Kiadó, Budapest, ISBN 9789636460181, ISSN 3004-0574 [2025.12.05.]
- JI HAN. – PINGFEI JIANG. – PETER R. N. CHILDS (2021): METRICS FOR MEASURING SUSTAINABLE PRODUCT DESIGN CONCEPTS <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/12/3469> [Utolsó letöltés: 2025.12.09.]
- MANZINI, E. (2015): Design, When Everybody Designs. MIT Press. ISBN: 9780262028608

- PAOLA BERTOLA (2024): Designing Sustainability Today: An Analytical Framework for Sustainable Design (MDPI Sustainability, 2024). <https://doi.org/10.3390/su16083240> <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/8/3240> [Utolsó letöltés: 2025.12.18.]
- PAPANÉK, V. (1971): Design for the Real World. Pantheon Books. ISBN: 9780500295335
- PEFC SWEDEN (2023): PEFC Sweden Certification System. [Utolsó letöltés: 2026.01.01.][<https://www.pefc.org/discover-pefc/our-pefc-members/national-members/pefc-sweden>]
- POGÁTSÁ ZOLTÁN (2023): Fenntartható gazdaság vagy társadalmi összeomlás. Kossuth Kiadó, Bp. ISBN: 9789635449804
- PORTER, M. E., & VAN DER LINDE, C. (1995): Green and competitive. Harvard Business Review. https://www.academia.edu/2917976/Green_and_competitive_ending_the_stalemate
- RAKONCZAI J. (2008): Globális környezeti kihívásaink. Universitas Szeged Kiadó, Szeged, ISBN 2310011721398
- STOEV, DINA. (2022): “Metamodernism or Metamodernity.” *Arts* 11 (5): 91. <https://doi.org/10.3390/arts11050091> [Utolsó letöltés: 2025.12.09.]
- SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM ÁLLAM- ÉS JOGTUDOMÁNYI KAR Alkotmányjogi Tanszék, Szegedi Tudományegyetem Közérthetőségi Szócikk Adatbázis, Környezetvédelem <https://u-szeged.hu/efop362-00007/kereses-abc-szerint-180523-10/kornyezetvedelem> [Utolsó letöltés: 2026.01.05.]
- THACKARA, J. (2005): In the Bubble. MIT Press. ISBN: 9780262701150
- TONY JUNIPER (2019): Az ökológia nagykönyve, HVG Kiadó Zrt., ISBN 9789635651047
- TÖRÖCSIK MÁRIA (2011): Fogyasztói magatartás Insight, trendek, vásárlók, Akadémiai Kiadó, Budapest, ISBN 9789630591584, HU ISSN 1787-3703
- UMBERTO ECO (1998): Nyitott mű - Forma és meghatározatlanság a kortárs poétikákban, Európa Könyvkiadó, ISBN 9630762307
- VAN DEN AKKER, ROBIN. - ALISON GIBBONS, AND TIMOTHEUS VERMEULEN, EDS. (2017): *Metamodernism: Historicity, Affect, and Depth after Postmodernism*. Lanham, MD: Rowman & Littlefield. DOI:10.16995/c21.1806 [Utolsó letöltés: 2025.12.09.]
- VERMEULEN, TIMOTHEUS, AND ROBIN VAN DEN AKKER.(2010): “Notes on Metamodernism.” *Journal of Aesthetics & Culture* 2 (1): 1–14. DOI:10.3402/jac.v2i0.5677 [Utolsó letöltés: 2025.12.09.]
- WCED. (1987): Our Common Future. Oxford University Press.
- YIJIE LI. - XINGFU XIONG. - MIN QU,(2023): Research on the Whole Life Cycle of a Furniture Design and Development System Based on Sustainable Design Theory, Published: 19 September 2023, <https://www.mdpi.com/1999-4907/11/12/1277> [Utolsó letöltés: 2025.11.25.]
- ZALAVÁRI JÓZSEF (2008): A forma tervezése – Designökológia, Scolar Kiadó, ISBN 9789632440446.
- ZALAVÁRI JÓZSEF (2020): Designjátékok – A forma tervezésének játéka és játszmái, Scolar Kiadó, ISBN 9789635092598

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSHOZ TÖRTÉNŐ ALKALMAZKODÁS ÉS A KLÍMA-MITIGÁCIÓ EGYENSÚLYÁNAK MEGTEREMTÉSE ERDŐGAZDÁLKODÁSI DÖNTÉSEK RÉVÉN – EGY HAZAI ESETTANULMÁNY

Balancing climate change adaptation and climate mitigation through forest management decisions – a domestic case study

BOROVICS ÁBEL, KIRÁLY ÉVA, KESERŐ ZSOLT, SCHIBERNA ENDRE
Soproni Egyetem Sárvári Erdészeti Tudományos Intézet
borovics.abel@uni-sopron.hu

Kivonat

Az éghajlatváltozás olyan erdőgazdálkodási stratégiákat tesz szükségessé, amelyek egyszerre növelik az ökoszisztéma ellenálló képességét és hozzájárulnak az éghajlatváltozás mérsékléséhez. Az önkéntes szén-dioxid-piacok (VCM-ek), amelyeket az Európai Unióban a Szén-dioxid-eltávolítási Tanúsítási Keretrendszer (CRCF, EU/2024/3012 rendelet) szabályoz, potenciális pénzügyi ösztönzőket kínálnak az ilyen gazdálkodáshoz, de a jogosultsági kritériumok – különösen a biológiai sokféleséggel kapcsolatos követelmények – korlátozzák bizonyos fajok alkalmazhatóságát. Ez a tanulmány hat alternatív kezelési forgatókönyv ökológiai és gazdasági eredményeit értékelte egy 4,7 hektáros, 99 éves nyugat-magyarországi erdefenyő (*Pinus sylvestris*) állomány esetében, összehasonlítva azokat egy szokásos üzletmenet-alapú (BAU) felújítási bázisforgatókönyvvel. Terepi felmérések adatai, fajonkénti fatermési táblák és az Forest Industry Carbon Modell felhasználásával modelleztük az élő és elhalt biomassza szénkészletét a 2025–2050 közötti időszakra, és kiszámítottuk az elszámolható karbonkreditek mennyiségét. Az eredmények rámutatnak az ökológiai alkalmasság, a piaci szabályozás és a gazdasági teljesítmény integrálásának fontosságára a karbongazdálkodási projektek tervezése során, és kiemelik, hogy a biológiai sokféleség védelme jelentősen befolyásolhatja a megvalósítható kibocsátáscsökkentési eljárásokat.

Abstract

Climate change requires forest management strategies that simultaneously enhance ecosystem resilience and contribute to climate change mitigation. Voluntary carbon markets (VCMs), regulated in the European Union by the Carbon Removal Certification Framework (CRCF, Regulation EU/2024/3012), offer potential financial incentives for such management, but eligibility criteria—particularly those related to biodiversity—limit the applicability of certain species. This study evaluated the ecological and economic outcomes of six alternative management scenarios for a 4.7-hectare, 99-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris*) stand in western Hungary, comparing them to a business-as-usual (BAU) regeneration baseline scenario. Using field survey data, species-specific yield tables, and the Forest Industry Carbon Model, we modeled live and dead biomass carbon stocks for the period 2025–2050 and calculated the amount of eligible carbon credits. The results highlight the importance of integrating ecological suitability, market regulations, and economic performance when designing carbon projects, and demonstrate that biodiversity protection can significantly influence the feasible emission-reduction pathways.

Bevezetés

Az éghajlatváltozás következtében az erdei ökoszisztémák olyan mértékű stressznek vannak kitéve, amely alapvetően változtatja meg a gazdálkodási stratégiák prioritásait. A hőmérséklet emelkedése, a csapadékeloszlás átrendeződése és az extrém események gyakoribbá válása (aszály, széldöntés, rovarkárok) különösen az olyan fajokat érinti érzékenyen, amelyek

természetes elterjedésük határán fordulnak elő – ilyen Magyarországon az erdei fenyő is. A klímaváltozáshoz való alkalmazkodás ma már nem választható elem, hanem az erdőgazdálkodás tartós fenntarthatóságának alapja. A természetközeli módszerek, a faj- és szerkezetgazdagság növelése, valamint a tájhoz alkalmazkodó fafaj-összetétel mind támogatják az ökoszisztéma hosszú távú ellenálló képességét. Emellett az erdők szerepe a klímaváltozás mérséklésében is felértékelődött, hiszen nagy mennyiségű szén tárolnak az élő biomasszában, az avarban és a talajban. A szénmegkötés pénzügyi értékelését a gyorsan fejlődő önkéntes szén-dioxid-piacok teszik lehetővé. A piac 2021-ben elérte a 2 milliárd USD-s globális értéket, és az előrejelzések szerint 2030-ra ennek húszszorosára nőhet. A piaci expanzió miatt egyre sürgetőbb a hitelesség, átláthatóság és a hosszú távú széntárolás biztosítása a karbon projektekben. Ennek megfelelően az EU új CRCF-rendelete egységesíti a tanúsítási eljárásokat. A rendelet ugyanakkor korlátozza a jogosult beavatkozások körét, különösen a biodiverzitási követelmények miatt. A tanulmány célja, hogy egy konkrét, túltartott erdei fenyves példáján bemutassa:

- mely fafajok tekinthetők alkalmasnak a jövő klímájában,
- milyen mennyiségű szénmegkötéssel és holtfa-képződéssel számolhatunk,
- és mely forgatókönyvek lehetnek pénzügyileg, valamint a karbonpiac szemszögéből is életképesek.

Anyag és módszer

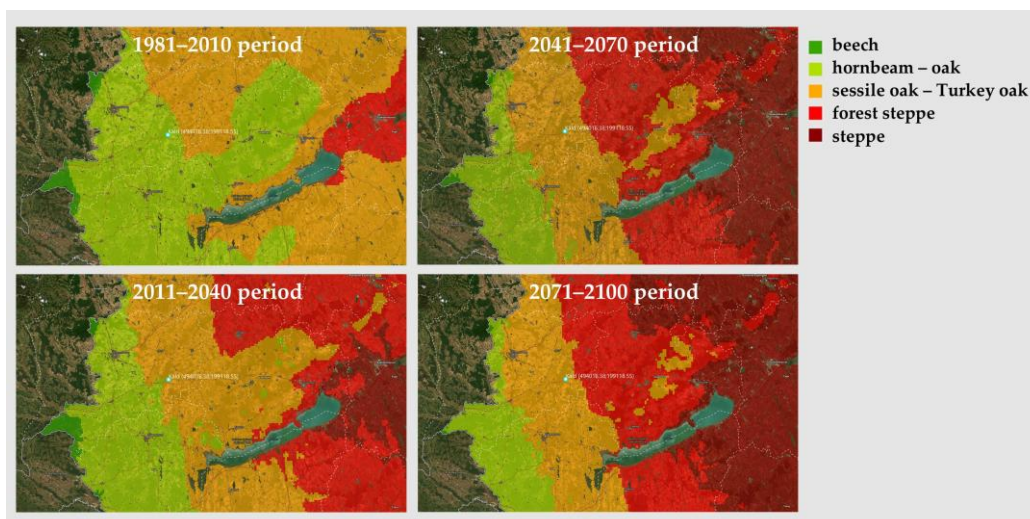
Az erdőrészlet leírása

A Káld 75/C jelű erdőrészlet 4,7 hektár területű, és a Káld község közelében fekvő, kiterjedt Farkas-erdő része (1. ábra). Elsődleges rendeltetése a faanyagtermelés. A részlet nem áll természetvédelmi oltalom alatt, és nem tartozik a Natura 2000 hálózatba sem.

Az állomány szinte teljes egészében erdei fenyőből (*Pinus sylvestris*) áll, az alsó lombkoronaszintben csak kis mennyiségben jelenik meg a gyertyán (*Carpinus betulus*). Cserjeszint és gyepszint gyakorlatilag nincs, kivéve az állomány szélein. Az erdei fenyő 99 éves, a gyertyán 69 éves. A vágásérettségi kort 90 évben határozták meg, így az állomány túltartott. A terepi bejárások során megállapítottuk, hogy a holtfa mennyisége és a pusztulás mértéke a korábbi erdőtervi leíráshoz képest növekedett, az egészségi állapot pedig romló tendenciát mutat.

SiteViewer 3.0 – Klímaváltozási előrejelzések és az ehhez kapcsolódó célállomány-ajánlások

A SiteViewer 3.0 (Siteviewer 3.0 2025) döntéstámogató rendszer (Illés, G., Fonyó, T., & Borovics, A. 2024) szerint a vizsgálati terület az 1981–2010 közötti adatok alapján a gyertyános–tölgyes erdészeti klímaosztályba tartozik. A közelmúltban a termőhelyi adottságok kedvezőek voltak az erdei fenyő (*Pinus sylvestris*) állományok számára (2. ábra). A 2011–2040 közötti időszakra vonatkozóan – az RCP 4.5 klímaváltozási forgatókönyv alapján – az előrejelzések szerint a terület a kocsánytalan tölgyes illetve cseres erdészeti klímaosztályba sorolható. Ebbe a kategóriába tartozó, preferált fafajok az erdei fenyő (*Pinus sylvestris*), a csertölgy (*Quercus cerris*), a szürke nyár (*Populus × canescens*) és az akác (*Robinia pseudoacacia*) (2. ábra). Bár a jövőben – a 2041–2070 és a 2071–2100 közötti időszakokra – további szárazodással kell számolni, a terület várhatóan továbbra is ugyanebben az erdészeti klímaosztályban marad (2. ábra).



2. ábra. Az erdészeti klímaosztályok térbeli eloszlása az 1981–2010, 2011–2040, 2041–2070 és 2071–2100 időszakokra. Forrás: SiteViewer 3.0.

Terepi mérés

2022 júliusában a Sárvári Erdészet közreműködésével részletes faállomány-felmérés készült a Káld 75/C erdőrészletben. Minden fa egyedi magasság- és átmérőmérést kapott, amelyek a faállomány térfogatbecslésének alapjául szolgáltak. A becslési eredmények nagyrészt megegyeztek az Országos Erdőállomány Adattár adataival, ezért a további számításokhoz a 2024-re aktualizált adatbázisértékeket használták fel.

1. táblázat. Erdőgazdálkodási forgatókönyvek

Forgatókönyv	Leírás
1. BAU – vágásérett fenyves véghasználata és fenyővel történő felújítása	A jelenlegi gazdálkodási gyakorlatot tükrözi. A fenyőállomány a jelen klímaviszonyok között erősen sérülékeny, ezért hosszú távon nem tekinthető stabil vagy fenntartható megoldásnak.
2. Meghosszabbított vágásforduló (+25 év)	Feltételezi, hogy az állomány vitalitása nem romlik tovább. A szárazodás és az egyre gyakoribb káresemények miatt azonban a késleltetett véghasználat jelentősen növeli a pusztulás és a hirtelen fellépő szénvesztesség kockázatát.
3. Természetes összeomlás – 10 éven belül	A szakértői értékelések alapján reális forgatókönyv: a vízhiányos állapot, a növedék drasztikus csökkenése és a vitalitásromlás miatt az állomány akár egy évtizeden belül teljesen összeomolhat.
4. Átalakítás akácosra	Gyors növekedésű, jó gazdasági eredményt és magas éves szénmegkötést biztosító alternatíva. Ugyanakkor idegenhonos faj, rontja a természetességi állapotot, és a CRCF biodiverzitási kritériumai miatt nem minősül elfogadhatónak.
5. Átalakítás szürkenyárra	Őshonos faj, jó szárazságtűréssel és gyors növekedéssel. Rövid vágásfordulója kedvező szénmegkötési rátát eredményez, viszont a faanyag értéke alacsonyabb, így gazdasági szempontból kevésbé jövedelmező.
6. Átalakítás cser-tölgyre	Klimatikusan jól alkalmazkodó, természetességi szempontból kedvező fafaj. Bár hosszú vágásfordulóval rendelkezik, stabil, időtálló és ökológiailag megbízható megoldást nyújt a jövőbeli klímában is.

Az alkalmazott fatermési táblák áttekintése

A vizsgálatban felhasznált fatermési táblákat azok állományleírásokhoz való illeszkedése alapján választottuk ki. Az alábbi táblák kerültek alkalmazásra:

- Erdei fenyő: Solymos Rezső fatermési táblája, 1966
- Gyertyán: Kollár Tamás fatermési táblája, 2024
- Akác: Fekete Zoltán és Sopp László fatermési táblája, 1974
- Óshonos nyár: Palotás Ferenc, Szodfridt István és Sopp László fatermési táblája, 1974
- Csertölggy: Kollár Tamás fatermési táblája, 2023

A különböző fatermési táblákat egy Kollár (2025) által fejlesztett, Excel-alapú alkalmazással vetettük össze, amely a Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézetének kísérleti hálózatából származó adatok alapján készült, paraméterezett táblaverziókat jelenít meg (Kollár 2022,2023, Kollár és Rédei 2025).

A szénmérleg számításának módszere

A szénmérleg számításának célja annak meghatározása volt, hogy az egyes forgatókönyvek során a vizsgált időszak éveiben mennyi szenet tárol az élő faállomány. Első lépésként meghatároztuk az élő biomassza változását a fakitermelések és az állománynövekedés alapján. A fatermési táblákból származó földi feletti fatömegeből a föld alatti biomassza mennyiségét gyökér-hajtás arányok alkalmazásával becsültük. Második lépésként kiszámítottuk a tárolt szén időbeli változását, a faanyag térfogategységre jutó széntartalmának felhasználásával. Mivel a fa sűrűsége és a szárazanyag széntartalma fafajonként eltér, minden fafajhoz külön átváltási tényezőt alkalmaztunk. Ezek a tényezők – sűrűség, szénhányad és gyökér-korona arány – az 1. táblázatban kerülnek összegzésre.

1. Táblázat: A faállomány széntartalmának meghatározásához alkalmazott átváltási tényezők és gyökér-hajtás arány a ÜHG-leltár szerint

	Sűrűség	Szénfrakció	Gyökér-hajtás arány
Mértékegység	tonna szárazanyag / m ³ élő fatérfogat	tonna C / tonna szárazanyag	tonna szárazanyag / tonna szárazanyag
Adatforrás	Somogyi (2008) és NIR 2022, 383. o. [31]	2006 IPCC GL V4, 4. fejezet, 4.3. táblázat [32]	IPCC GPG for LULUCF 2003, 3A.1 melléklet, 3A.1.8 táblázat [33]
Faállomány típusa	Sűrűség	Szénfrakció	Gyökér-hajtás arány
Csertölggy	0,64	0,48	0,25
Gyertyán	0,58	0,48	0,25
Akác	0,59	0,48	0,25
Hazai nyár	0,36	0,48	0,25
Erdei fenyő	0,42	0,51	0,25

A biomassa és a holtfa jövőbeli szénmérlegének modellezéséhez a Forest Industry Carbon Model (FICM) modellt alkalmaztuk (Borovics et al. 2024). A CRCF-rendelet előírásainak megfelelően a fatermékek szénmérlegét nem vettük figyelembe a számítások során. A számításokban kizárólag az erdészeti modult alkalmaztuk, mivel a CRCF-rendelet alapján sem a fatermékek szénmérlege, sem a termékhelyettesítés hatásai nem számolhatók el egy klímabarát erdőgazdálkodási projekteknél.

A vészforgatókönyvben jelentős mennyiségű holtfa keletkezik. A holtfa lebomlását olyan szakirodalmi forrás alapján modelleztük, amely erdei fenyőre és gyertyánra ad lebomlási egyenleteket. Erdei fenyő esetében szigmoid, gyertyán esetében lineáris lebomlási görbe alkalmazását ajánlják (Edelmann et al. 2023).

A keletkező karbonkreditek számításának módszere

Karbonkreditek akkor keletkeznek, ha a vizsgált forgatókönyvben több szén tárolódik, mint a BAU (business as usual) forgatókönyv esetében. A CO₂-kreditek számításának első lépése a referenciaalap meghatározása, amely jelen esetben a meglévő állomány letermeléséből és erdei fenyővel (*Pinus sylvestris*) történő felújításából áll. Az alternatív forgatókönyveket ehhez az bázisvonalhoz viszonyítva értékeltük, hogy meghatározzuk, hogyan tér el a szénmegkötés mértéke. A keletkező CO₂-többlet képezte a kreditképzés alapját. Ha a szénmegkötés meghaladta az bázisvonalat, kreditek keletkeztek; ellenkező esetben a kreditek száma nulla maradt. A számítás alapegysége 1 tonna CO₂, amely 1 karbonkreditnek felel meg.

Pénzügyi számítások

A gazdasági számítások célja az volt, hogy a különböző erdőgazdálkodási forgatókönyveket pénzügyi hatásaik alapján összehasonlítsuk a vizsgálati időszakon belül. A forgatókönyvekhez kapcsolódó erdőgazdálkodási beavatkozások és növekedési folyamatok eltérő pénzáramlásokat eredményeznek, ezek összesített hatását értékeltük. A számításokhoz szükséges meghatározni a fakitermelésből származó bevételeket, a fakitermelés és az erdőfelújítás költségeit, valamint a karbonkreditekből származó bevételeket.

A fakitermelési bevételek két fő részből állnak:

- az erdei fenyő fűrészrönk értékesítéséből származó nettó árbevételből,
- és a gyenge minőségű választékok (rostfa, papírfa) értékesítéséből származó nettó árbevételből.

A választékok egységárait az Agrárminisztérium által közzétett statisztikai adatokból nyertük (OSAP 2024). A második fontos tényező az egyes forgatókönyvek esetén felmerülő erdőfelújítási költség. Ezeket az adatokat a Megújított Vadkárfelvételi és Értékelési Útmutató tartalmazza (Nagy 2023). A fakitermelési fedezeti hozzájárulást úgy számítottuk, hogy a teljes árbevételből levontuk a változó költségeket (fakitermelési és erdőfelújítási költségek). Az általános költségeket a számítás nem tartalmazta.

A számítások során a karbonkreditek árát nem kezeltük állandóként, helyette 0-150 € közötti tartományban változtattuk, hogy vizsgáljuk az árváltozás hatását az összbevételre. A forgatókönyvek pénzügyi összehasonlítása a teljes diszkontált fedezet alapján történt.

Bevételi szempontból a biodiverzitás kritérium kulcsfontosságú, mivel meghatározza, mely fajok használhatók fel felújításra egy karbonfarming projektben. A CRCF szabályozás szerint csak azok a projektek kerülhetnek be a karbonpiacra, amelyek pozitív hatást gyakorolnak a biodiverzitásra. Emiatt az akác (*Robinia pseudoacacia*) alkalmazása nem eredményezne további karbonbevételt, mivel idegenhonos faj, és így kizárt a karbonmegkötési

projektekben akkreditálható fajok listájáról, abban az esetben, hogyha alkalmazása a természetességi állapot romlásához vezetne.

Eredmények

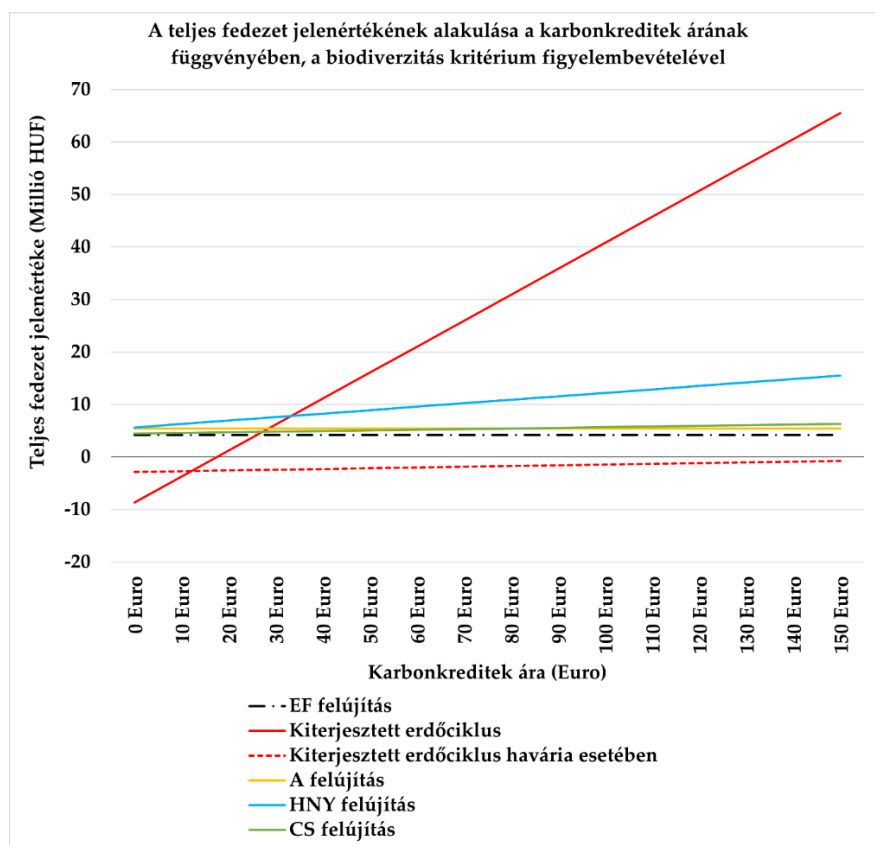
A különböző erdőgazdálkodási forgatókönyvek összehasonlítása alapján a kiterjesztett vágásfordulós forgatókönyvben az élő és holt biomassza együttes széntartalma a vizsgálati időszak végéig a legmagasabb marad. Ugyanakkor a terepi megfigyelések és az erdőgazdálkodóval folytatott konzultációk alapján várható, hogy az állomány 100%-os pusztulása a következő 10 évben bekövetkezhet. Ebben az esetben a modellezés szerint a széntartalom 2050-re jelentősen csökkenne. Ilyen körülmények között a 2042-es évre az akáccal történő felújítás széntároló kapacitása már meghaladná a holt, álló erdei fenyő állományét. Az akác rövid idő alatt jelentős szénmegkötésre képes a gyors kezdeti növekedése miatt. A vizsgálati időszak végére az őshonos nyár alkalmazása is nagyobb szénmegkötést eredményezne a pusztuló erdőfenyő állományhoz képest (teljes állománypusztulási forgatókönyv). Ezzel szemben a csertölgy lassú növekedése miatt az adott időszakban alacsony szénmegkötő kapacitással rendelkezik, és a jelenlegi erdőfenyővel történő felújítás (alapforgatókönyv) szintén kisebb szénmegkötést biztosít az egyéb forgatókönyvekhez képest.

Az egyes forgatókönyvek klímamitigációs potenciálját a 2050-ig tartó időszakra a BAU forgatókönyvhöz viszonyítva értékeltük. A kiterjesztett vágásfordulós forgatókönyv adta a legnagyobb többlet szénmegkötést, 958 tCO₂-val az alaphoz képest. A teljes állománypusztulás forgatókönyvben mindössze 108 tCO₂ többletet számítottunk. Az akáccal történő felújítás kiemelkedő 690 tCO₂ többletet eredményezett; azonban a biodiverzitási kritérium miatt ez nem számolható el karbonkreditként. Az őshonos nyár esetében a 209 tCO₂ többlet elszámolható kreditként, bár jelentősen alacsonyabb, mint az akácnál. A csertölgy felújítás a vizsgált időszakban a legalacsonyabb többletszénmegkötést biztosította, mindössze 20 tCO₂-t. Bár az értékek nagysága eltérő, mindegyik forgatókönyv az alapforgatókönyvhöz képest többlet klímamitigációs potenciált képvisel.

Az erdőfenyővel történő felújítás alapforgatókönyvében a karbonkreditekből nincs bevétel; csak a fakitermelésből származó bevétel és az erdőfelújítási, fakitermelési költségek különbsége látható, jelenértékben kifejezve. A kiterjesztett vágásfordulós forgatókönyvben a jelentős karbonkredit-bevételek mellett a véghasználatkor keletkező faértékesítési bevétel is figyelembe vehető, a felújítási és kitermelési költségek levonása után. Ennek eredményeként a legmagasabb teljes diszkontált fedezet 41 200 EUR, feltételezve, hogy a karbonkredit ára 50 €/tCO₂. A teljes állománypusztulás forgatókönyvben a költségek meghaladják a bevételeket a vizsgált időszak korai éveiben a karbonkredit bevételek ellenére is. Ennek oka, hogy a ciklus végén a fakitermelési bevétel jelentősen alacsonyabb az egyéb forgatókönyvekhez képest. Az akáccal történő felújítás esetén a CRCF szabályozás biodiverzitási kritériuma miatt a karbonkredit bevételek nem számolhatók el; ennek ellenére a teljes diszkontált hozzájárulás 13 900 EUR. Hazainyár alkalmazása esetén mind a karbonpiacról, mind a faanyag eladásból is származik bevétel, ami 22 900 EUR teljes fedezeti jelenértéket eredményez. A vizsgált forgatókönyvek közül ezt javasolt megvalósítani, mivel a kiterjesztett vágásfordulós forgatókönyv a helyi gazdálkodási tapasztalatok alapján nem fenntartható és hosszútávon veszteséges a gazdálkodó számára.

Ha a karbonkredit piaci ára meghaladja a 30 €/tCO₂-t, a kiterjesztett vágásfordulós forgatókönyv jellemezhető a legmagasabb teljes diszkontált fedezettel (3. ábra). Ugyanakkor, mint korábban említettük, a helyi erdőgazdálkodási tapasztalatok szerint ez a forgatókönyv nem megvalósítható reálisan. Bár mutatói mérsékeltebbek, az őshonos nyár felújítása gazdasági szempontból a legkedvezőbb választásnak tűnik. A csertölgy felújítás teljes fedezeti jelenértéke a karbonkredit áráról függetlenül alacsony szinten marad. Az akácos és az erdei fenyő

bázisforgatókönyv szerinti felújítás esetén a teljes diszkontált fedezet a karbonkredit ár változásától független, mivel ezekben az esetekben nincs bevétel a karbonkreditekből – az akácnál a biodiverzitási kritérium miatt, az erdei fenyőnél pedig azért, mivel ezt tekintettük bázisvonalnak. A teljes állománypusztulás forgatókönyv fedezeti jelenértéke a legmagasabb karbonkredit ár mellett is negatív marad.



3. ábra: A teljes fedezet jelenértékének alakulása a karbonkreditek árának függvényében, a biodiverzitási kritérium figyelembevételével

Következtetések

Jelen tanulmányban egy 4,7 hektáros, 99 éves erdei fenyő (*Pinus sylvestris*) állomány karbonfarming projektbe való bevonhatóságát vizsgáltuk különböző kezelési forgatókönyvek alapján. Az alapforgatókönyv a végvágást követő azonos fafajú, erdei fenyővel történő felújítást feltételezte. Célunk az volt, hogy kiválasszuk a gazdaságilag legelőnyösebb forgatókönyvet. A hat alternatív forgatókönyv közül az őshonos nyár felújítása bizonyult a legkedvezőbb opciónak. Ez kedvező egyensúlyt biztosít a biodiverzitási követelmények teljesítése, az előrejelzett éghajlati feltételekhez való alkalmazkodás és a pénzügyi teljesítmény szempontjából. Bár a kiterjesztett vágásfordulós forgatókönyv a legnagyobb mérséklési és gazdasági potenciált kínálta, a magas pusztulási kockázat miatt nem tekinthető reálisnak. Az akác jelentős szénmegkötési és gazdasági lehetőséget mutatott, ám a CRCF szabályozás szerint idegenhonos fajként nem számolható el karbonprojektben. Eredményeink rámutatnak, hogy a karbonfarming projektek tervezésekor elengedhetetlen az ökológiai, szabályozási és gazdasági szempontok integrálása, és hogy a biodiverzitási kritériumok, bár ökológiailag indokoltak, jelentősen korlátozzák a megvalósítható erdőgazdálkodási lehetőségek körét.

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció a „TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú ErdőLab” projekt keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium)

Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- SITEVIEWER 3.0 (2025): <http://www.ertigis.hu/siteviewer.htm>. (accessed: 10 October 2025)
- ILLÉS, G., FONYÓ, T., & BOROVIKS, A. (2024): SiteViewer: A decision support tool for forest management. *Hungarian Agricultural Research: Environmental Management, Land Use, Biodiversity*, 34(3–4), 11–14.
- KOLLÁR T. (2025): Fatermési táblák és függvények paraméter készlete a magyarországi fafajok erdőállományinak becsléséhez. Erdészeti Tudományos Konferencia 2024. (in press)
- KOLLÁR T. (2025): Fatermési táblák és függvények paraméter készlete a magyarországi fafajok erdőállományinak becsléséhez. Erdészeti Tudományos Konferencia 2024. (in press)
- KOLLÁR T. (2022): Új adatok a magyarországi gyertyánosok (*Carpinus betulus*) faterméséről. In: Czimber, Kornél (ed.) Erdészeti Tudományos Konferencia, Sopron – 2022. Sopron, Magyarország: Soproni Egyetem Kiadó. 316 p. pp. 109-116., 8 p.
- KOLLÁR T. (2023): Csertőlgy (*Quercus cerris*) állományok fatermési függvénye és táblája az erti tartamkísérleti hálózatának adatbázisa alapján. *Erdészettudományi Közlemények*, 13(2): 77-101. <https://doi.org/10.17164/EK.2023.05>.
- KOLLÁR T., RÉDEI K. (2025): Parametrikus fatermési táblák, Soproni egyetem kiadó, Sopron (in press)
- BOROVIKS A, KIRÁLY É, KOTTEK P. (2024): Projection of the Carbon Balance of the Hungarian Forestry and Wood Industry Sector Using the Forest Industry Carbon Model. *Forests*. 15(4):600. <https://doi.org/10.3390/f15040600>.
- EDELMANN P., WOLFGANG W. WEISSER, DIDEM AMBARLI, CLAUS BÄSSLER, FRANÇOIS BUSCOT, MARTIN HOFRICHTER, BJÖRN HOPPE, HARALD KELLNER, CYNTHIA MINNICH, JULIA MOLL, DEREK PERSOH, SEBASTIAN SEIBOLD, CLAUDIA SEILWINDER, ERNST-DETLEF SCHULZE, STEPHAN WÖLLAUER, WERNER BORKEN (2023): Regional variation in deadwood decay of 13 tree species: Effects of climate, soil and forest structure, *Forest Ecology and Management*, Volume 541, 2023, 121094, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121094>.
- OSAP (2024): Erdészeti ársziszteikák. <https://agrarstatisztika.kormany.hu/erdogazdalkodas2>. (accessed: 10 October 2025).
- NAGY I. (2023): Megújított Erdei Vadkárfeleveteli és Értékelési Útmutató, Készült a Magánerdő Tulajdonosok és Gazdálkodók Országos Szövetségének a megbízásából. Nagy I. ed. Sopron.

ERDŐBEN TALÁLHATÓ KERÍTÉSEK TÉRKÉPEZÉSI LEHETŐSÉGE UAV LiDAR ADATOKBÓL

Mapping forest fences from UAV LiDAR data

BROLLY GÁBOR

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet
brolly.gabor@uni-sopron.hu

Kivonat

Az erdei környezetben, jellemzően vadkárelhárítási céllal létesített kerítések nyomvonalának és állapotának térképezési lehetőségét egy 100 és egy 60 méteres repülési magasságból, lombtalan faállományban készített UAV LiDAR felvétel adatai alapján vizsgáltam. A kerítések LiDAR pontthalmazból történő detektálására automatikus eljárást fejlesztettem ki, ami vonalas alakzatokat azonosít képfeldolgozási eljárásokkal. A négyzetméterenként közel ezer pontmérést jelentő adatsűrűség ellenére, a 100 méteres magasságból készített felmérés alapján a teljes kerítéshossznak csak 46%-a látható a pontthalmazban, amelynek 58%-át tudtam automatikus úton kimutatni. A pontmérések magassági eloszlása egyenlőtlen; az alsó és középső magasságból csak elvétve vannak LiDAR pontmérések, így a kerítés állapotát, például szakadást vagy felgyűrést nem lehetett megállapítani.

Abstract

This study investigates the potential and limitations of using UAV LiDAR data to map forest exclusion fences meant to prevent wildlife damage. Data were captured at flight altitudes of 100- and 60-meters during leaf-off conditions. An automated algorithm, combining various image processing methods, was developed to detect linear features within the LiDAR point clouds. Despite a high data density of up to 1000 points per square meter, only 46% of the total fence length was visible in the 100-meter data set. Of this visible portion, the algorithm successfully detected 58%. The vertical distribution of the LiDAR points was found to be biased, with few point measurements recorded in the middle and lower region of the fence. Consequently, the structural integrity of the fence cannot be reliably assessed using this method.

Bevezetés

A vadkerítések mesterséges tájelemek, amelyek leggyakrabban vadkárelhárítás, és vadaskertek elhatárolása céljára létesülnek. Magyarország erdőterületein a 2010-es évek elejéig több, mint hétezer km hosszúságú vadkerítést telepítettek (KATONA ET AL., 2011), ami a magas vadlétszám miatt napjainkra feltételezhetően tovább növekedett. Az elmúlt tíz évben az állandó jelleggel bekerített, jellemzően erdőborítású területek 176 ezer hektárt tettek ki, ami a vadgazdálkodással érintett összterület 3,3%-a, de a dunántúli vármegyékben – a nagyvad sűrűsége miatt – ez az arány helyenként akár 8%-ot is elér (KIRÁLY, 2016). A vadkerítések az erdei életközösségre széleskörű hatást gyakorolnak, ezért telepítésük, állapotuk, és elbontásuk téradat-alapú nyilvántartása tökéletesen illeszkedik a környezeti állapot monitoring feladatok sorába. A vezető nélküli légi eszközökkel (UAV) hordozott lézeres letapogatókkal (LiDAR) erdővel borított területen is gazdaságos, és gyors térbeli adatgyűjtés végezhető, amelyből részletes domborzatmodell készíthető, illetve egyesfák kimutatásán keresztül különféle faállomány-jellemzők határozhatók meg (SZÁSZ ET AL., 2025, APLI ET AL., 2025). Mivel a lombtalan állapotban végzett, rendkívül nagy adatsűrűségű LiDAR felmérések a faállomány alatt elhelyezkedő vadkerítésekről is tartalmaznak adatokat, érdemes

megvizsgálni, hogy hogyan, és milyen minőségben lehet térképezni a kerítések nyomvonalát, valamint a felmérni a kerítések állapotát.

Anyag és módszer

Az adatgyűjtés mintaterülete 14,5 hektár méretű, Pilisszántó községhatárban található, és 90 éves kocsánytalan tölgyes állomány borítja, ami az adatgyűjtéskor lombtalan állapotban volt. Az adatgyűjtés két repüléssel történt 100, és 60 méter magasságban. Az adatgyűjtő rendszer CHCNav AlphaAir 450, ami DJI Matrice 300 hordozót és egy LiVOX Avia LiDAR szenzort tartalmaz. A repülés nyomvonalának rögzítése GNSS-alapú, valós idejű kinematikus helymeghatározással (RTK) történt. A szenzor egy lézermimpulzus kibocsátásából legfeljebb három visszaverődést rögzít. A 100 méteres magasságból végzett repülésnél („Pilis 100”) a sorok száma öt, a sávok közötti átfedés mértéke 60%, az adatsűrűség 940 pontméter négyzetméterenként. A 60 méteres magasságból végzett repülésnél („Pilis 60”) a mintaterület átfed az előzővel, de csak 11,3 hektáros. A repülési sorok száma hét, ami 75%-os átfedés mellett 2704 pontmérést eredményezett négyzetméterenként. A felmérés során színhelyes légifelvétel készült. A LiDAR ponthalmaz tájékozása és első szintű feldolgozása (zajszűrés, pontkoordináták helyzetének javítása) a CHC CoPre v. 2.3. szoftverrel történt.

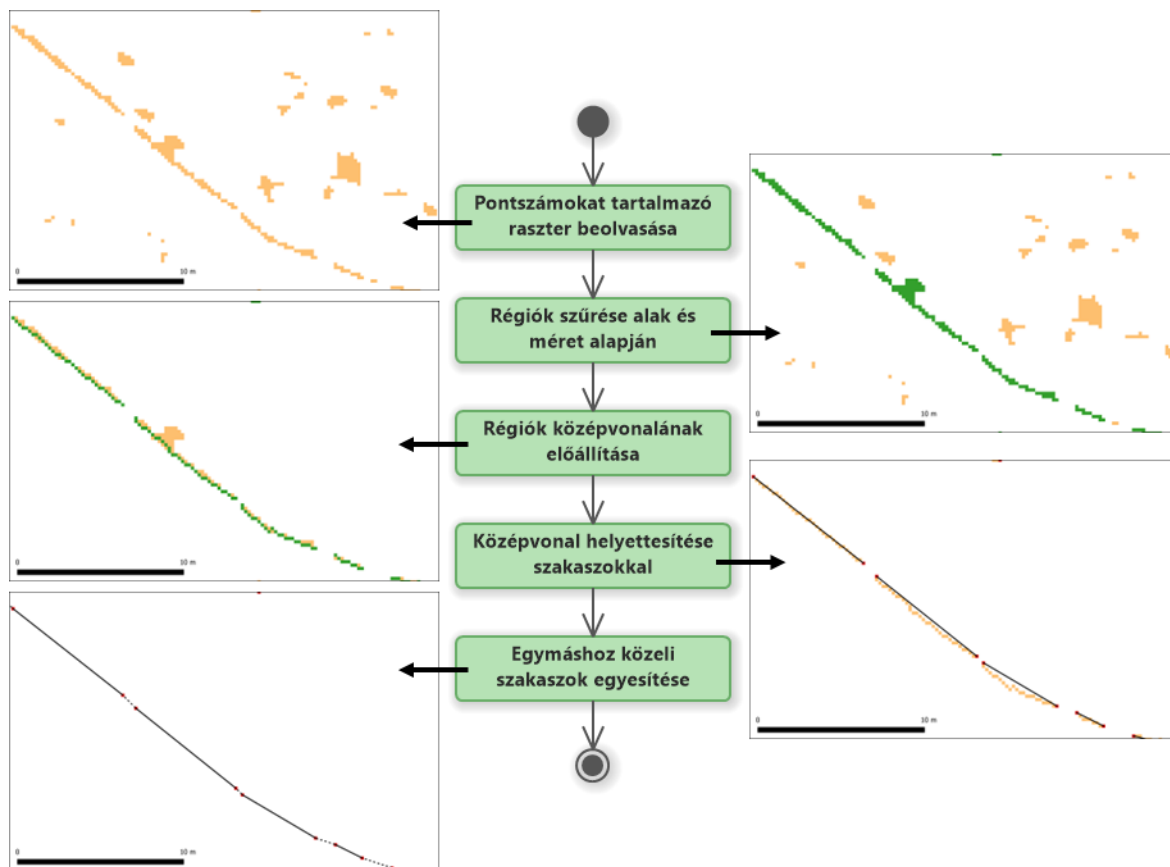
A terület domborzatmodellje a CloudCompare (cloudcompare.org) szoftverben található CSF tereppont-szűrés eljárással készült, majd a pontmérések magassági koordinátáját földfelszín fölötti magasságra számítottam át. A tereppontok, és a négy méternél magasabb pontmérések eltávolításra kerültek, így a ponthalmazban csak a kerítések, és a négy méternél alacsonyabb növényzet adatai maradtak.

A kerítés nyomvonalának térképezését a ponthalmazok vizuális interpretációjával, és saját fejlesztésű, automatikus eljárással is elvégeztem. Mindkét módszerhez szükség volt a ponthalmazok raszteres formában történő átalakítására, ami a Point2Pixel alkalmazással történt (BROLLY, 2025). A vizuális interpretáció elsősorban a részletesebb, Pilis 60 adatok alapján történt, illetve a terület déli részén, a 60 méterről végzett adatgyűjtés területén kívül, a Pilis 100 felmérés képezte az interpretáció alapját. Az így előállított kerítésnyomvonal állományok az automatikus felismerés eredményeinek ellenőrzésére szolgáltak. A nyomvonalak mentén, a ponthalmazból is készítettem kivágatokat, amelyeken a pontmérések magassági eloszlása figyelhető meg.

A kerítésszakaszok felismerésére tervezett algoritmus főbb lépései az 1. ÁBRÁN láthatók. A kiindulási adat a ponthalmazból készített, tereppel párhuzamos, raszteres formátumú metszet. Az eljárás képfeldolgozási műveletekkel folytatódik:

1. A szomszédos pixelekből régiókat alakítunk ki;
2. A régiók közül kiválasztjuk az elnyúlt alakzatokat;
3. A régiókat vonalakká alakítjuk át a szélső pixelek eltávolításával;
4. A pixelekből álló középvonalakat vektoros vonallánccal helyettesítjük;
5. Az egymáshoz közeli végponttal rendelkező vonalakat összekapcsoljuk.

A 4. a lépés a középvonalak generalizálása is egyben, mert a vonallánc egyszerűsíti, azaz kevesebb törésponttal követi a középvonalak alakját. Az 5. lépéssel csökken a nyomvonalak adathiányok okozta szaggatottsága. A végpontok maximális távolsága 2 méter, ami a kerítésoszlopok távolságával egyezik meg.

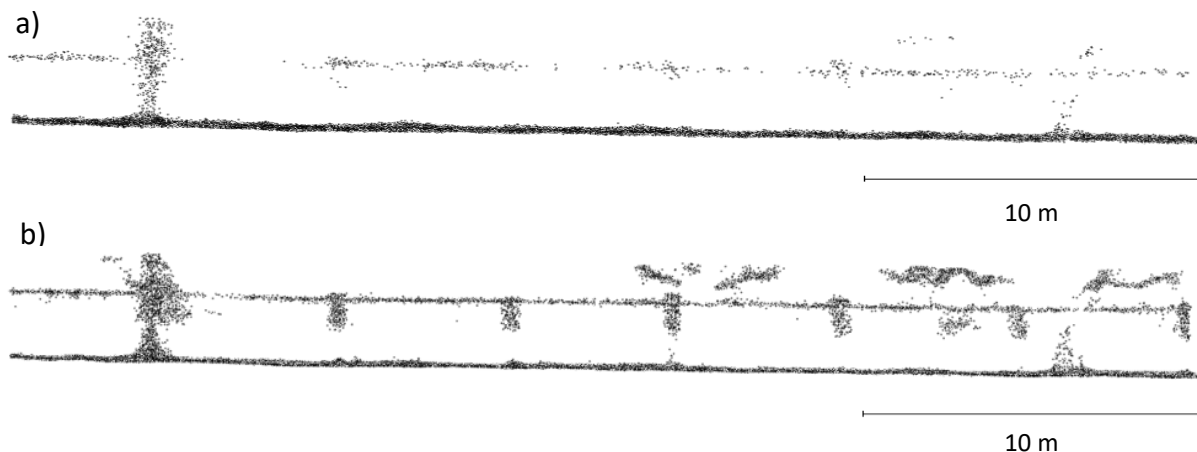


1. ábra: A kerítés nyomvonalának automatikus azonosítása.

Eredmények

A vadkerítésekhez használt dróthálók és panelek a lézerrel történő mérés szempontjából rendkívül kis felületet jelentenek, így a kerítések LiDAR pontfelhalmazban történő megjelenését, és azonosíthatóságukat korábban csak feltételeztük. A mintaállományok alapján a területen létesített vadkerítések vizuálisan csak részben azonosíthatók, ugyanis a nyomvonalak mentén mindkét esetben, de főként a Pilis 100 állományban, adathiányos szakaszok is jelen vannak (2. ÁBRA). Mindkét pontfelhalmazban a kerítésnek csak a felső része jelenik meg. Feltételezhető, hogy az egymás alatti fémcszalagok magasságkülönbsége nem teszi lehetővé a szenzorban a visszaverődések elkülönítését, ami így csak az első beérkező jelet, azaz a kerítés tetejét rögzíti. A hosszabb, összefüggő adathiányokra nézve feltételezhető, hogy a vékony fémcszalagok amúgy is gyenge visszaverődése magasabb repülésnél már olyan mértékben lecsökken, hogy a szenzor nem képes beérkező jelet a háttérzajtól megkülönböztetni, ezért nem rögzít pontmérést.

A két repülés által lefedett terület nem teljesen fedi egymást, így a teljes, vizuális interpretációval azonosított kerítéshosszak a Pilis 100 és Pilis 60 esetében 1045, illetve 850 méter. A Pilis 100 állományban a mintaterület keleti részén húzódó kerítésszakaszról egyáltalán nincsenek adatok. Így, a teljes, 1045 méteres kerítéshossznak csak a fennmaradó részét (46%) lehet azonosítani, amelynek 58%-át (279 m) automatikusan sikerült megvalósítani. A kerítésszakaszok automatikus eljárással történő azonosításának eredményeit az 1. TÁBLÁZAT foglalja össze.



2. ábra: Egy kerítésszakasz oldalnézeti képe a Pilis 100 (a), és Pilis 60 (b) ponthalmazban. A kerítésnek mindkét esetben csak a felső részén láthatók pontmérések. A Pilis 100 állományban jellemzők az adathiányos szakaszok.

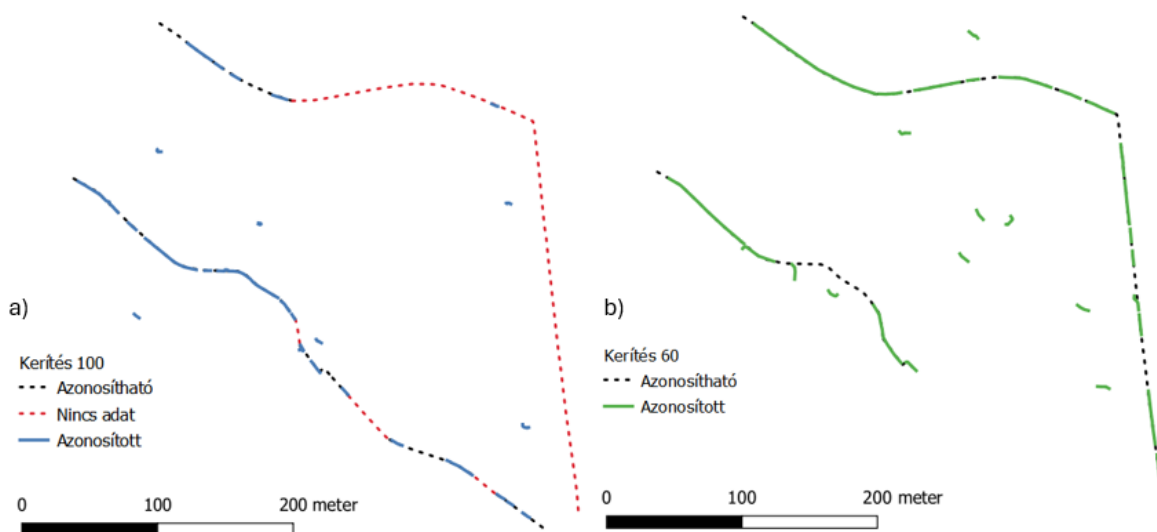
A Pilis 60 állomány kisebb területet fed le, a ponthalmaz alapján azonosítható nyomvonal hosszának 67%-át, 568 métert sikerült automatikus úton térképezni (3. ÁBRA). A Pilis 100 adatokból elértnél jobb felismerési arány egyértelműen annak köszönhető, hogy itt a kerítések nyomvonalának képe kevésbé szakadozott, bár folytonosnak itt sem tekinthető. A leghosszabb, legfeljebb 2 méter adathiánnyal megszakított nyomvonalhossz a Pilis100-nál 44,8 méter (7 szakasz), míg a Pilis60-nál 104,8 méter (3 szakasz). Ez alapján, a kedvező képréseken az összefüggő szakaszok hossza 100, illetve 60 méteres repülésnél 6,4, illetve 34,9 méter. Mindkét állomány tartalmaz tévesen detektált kerítésszakaszokat, amelyek teljes hossza a Pilis 100, és Pilis 60 adatokban a helyesen felismert nyomvonalhossz 13%, illetve 16%-a. A Pilis 60 állományban a nyomvonal képének folytonossága jobb, de a vékonyabb struktúrák, faágak, cserjék nagyobb arányban vannak jelen a ponthalmazban, ami a téveszések számának emelkedését okozza.

1. Táblázat: Az azonosítható, és automatikus úton azonosított kerítés-nyomvonalhosszak. Minden adat méter egységben szerepel

	Pilis100	Pilis60
Repülési magasság	100	60
Teljes kerítéshossz	1045	850
Azonosítható hossz	482	850
Detektált hossz	279	568
Kihagyott hossz	203	282
Téves azonosítás hossz	35	91

A tévesen detektált kerítésszakaszok hossz-aránya viszonylag magas. A téves detektálás jellemzően magasabb záródású cserjeszintnél fordulnak elő, és akár 4 métert meghaladó hosszúságú folytonos vonalként jelentkeznek. Ennek oka, hogy a cserjeszint pontmérései változatos alakzatokat alkotnak, és levéltelen cserjeágak sokaságából – az alkalmazott képfeldolgozás lépések hatására – vonalas mintázatok rajzolódnak ki, amelyek az algoritmus

számára egy-egy rövid kerítésszakaszhoz hasonlóak. A további fejlesztés során ezeket a téves felismeréseket a szakasz alakjának vizsgálatával szeretném kiszűrni.



3. ábra: A mintaterületen található kerítések nyomvonala a Pilis 100 (a), és Pilis 60 (b) pontthalmazban. Az ábrán pontsor jelöli a nyomvonalakat, amelyek közül az adathiány miatt be nem azonosítható szakaszok piros színűek. Az automatikus úton azonosított szakaszokat színes folytonos vonal jelöli. A nyomvonalon kívül eső, rövid, színes szakaszok téves detektálások.

Megfontolandó még, hogy a LiDAR adatokban szaggatottan megjelenő nyomvonalak esetében az adathiányos szakaszokon csak feltételezzük a kerítés meglétét, épségét, ami régóta felhagyott kerítéseknel téves információt eredményezhet az adott szakasz funkcionalitását illetően. Egyértelmű, hogy a nagyobb magasságból végzett felmérés gazdaságosabb, ezért fontos kérdés, hogy mely UAV LiDAR szenzorok képesek arra, hogy a kerítésekről 100-120 méteres repülési magasságból részletes pontfelhőt szolgáltatassanak.

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció a TKP2021-NVA-13 azonosítószámú projekt keretében a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- APLI Á. – BROLLY G. – KIRÁLY G. (2025): UAV LiDAR adatok erdészeti célú vizsgálata a Naszály-hegy északi oldalán. In: Zagyvainé K. K., Gribovszki Z. Jankó Sándor Díj Konferencia 2025. Sopron, 2025. június 16. p. 6-14. <https://doi.org/10.35511/978-963-334-567-2>
- BROLLY G. (2025): Point2Pixel: Egy alkalmazás lidar adatok képfarmátumra történő átalakítására. In: Czímber, Kornél; Vágvölgyi, Andrea; Kovács, Gábor (szerk.) Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa 2024. Soproni Egyetem Kiadó (2025) 341 p. pp. 40-45., 6 p.
- KATONA K. – SZEMETHY L. – CSÁNYI, S. (2011) Forest management practices and forest sensitivity to game damage in Hungary. *Hungarian Agricultural Research*, 20(1): 12-16
- KIRÁLY I. (2016): Kerítésstressz. In: Pechtol J. (szerk): Vadászévkönyv 2016. DNM Kiadó, Budapest. 108 – 120. ISSN 1419-4732
- SZÁSZ B. – HEIL B. – KOVÁCS G. – MÉSZÁROS D. – CZIMBER K. (2025): Comparison of Advanced Terrestrial and Aerial Remote Sensing Methods for Above-Ground Carbon Stock Estimation—A Comparative Case Study for a Hungarian Temperate Forest. *Remote Sens.* 2025, 17(13), 2173; <https://doi.org/10.3390/rs17132173>

KRITIKUS ÉRZÉKENYSÉGŰ TERMŐHELYEK TÁVÉRZÉKELÉSE, TEREPI- ÉS LABOR VIZSGÁLATA A DÉL-ALFÖLDI RÉGIÓBAN

Remote sensing-, field-, and laboratory investigation of
critically sensitive forest sites in the southern Great Plain region

CZIMBER KORNÉL¹, HEIL BÁLINT², SZÁSZ BOTOND¹

¹ Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet

² Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet
czimber.kornel@uni-sopron.hu

Kivonat

A tanulmány a Dél-Alföld kritikus érzékenységu erdőterületeinek aszálykárosodását vizsgálja többfázisú távérzékelési és talajtani módszerekkel. Műholdas (Sentinel-2), drónos lézershakkelés és multispektrális felmérés, valamint földi lézershakkeléses adatokat használtunk az erdők állapotának, fatérfogatának felmérésére. A kutatás további célja az aszálykárosult és vitális állományok termőhelyi különbségeinek feltárása volt. Az NDVI idősorok alapján a 2022–2023-as aszály jelentős vegetációs visszaesést okozott. A drónos mérések lehetővé tették az egyes fák magasságának, koronaméretének és egészségi állapotának becslését. A földi lézershakkelés pontos törzsátmérő- és famagasság-adatokat szolgáltatott. A talajvizsgálatok szerint a fő probléma nem talajhiba, hanem a vízhiány. A Thornthwaite-modell a talajok vízkészletének kimerülését igazolta. Az aszály súlyos erdőgazdálkodási kihívásokat vetít előre. Megoldásként ökoadekvát fafajok, csökkentett tőszám, záródás, és agroerdészeti rendszerek alkalmazását javasoljuk.

Abstract

The study investigates drought damage in critically sensitive forest areas of the Southern Great Plain using multi-phase remote sensing and soil analysis methods. Satellite (Sentinel-2), drone-based LiDAR and multispectral surveys, as well as terrestrial laser scanning data were used to assess forest condition and timber volume. A further objective of the research was to identify site-related differences between drought-affected and vital forest stands. NDVI time series analysis showed a significant decline in vegetation during the 2022–2023 drought period. Drone-based measurements enabled the estimation of individual tree height, crown size, and health status. Terrestrial laser scanning provided accurate data on trunk diameter and tree height. Soil analyses indicated that the main problem is not soil degradation but water scarcity. The Thornthwaite model confirmed the depletion of soil water reserves. Drought poses serious challenges for forest management. As potential solutions, the use of eco-adaptive tree species, reduced planting density and canopy closure, and the application of agroforestry systems are recommended.

Bevezetés

Alföldi erdőterületeink egy része a klímaváltozás következtében már jelenleg is kritikus termőhelynek számítan, mert kevés a nyári csapadék vagy gyenge a talajok víztartó képessége, a talajvízszint jelentősen csökkent az elmúlt időszakban, az aszályos időszakok gyakorisága növekszik. Erdészeti klímamodellek alapján az alföldi területek nagy része erdősztepp klímáról a 2020–2050 időszakban átlép a sztyepp klímába (Führer, MÁTYÁS et al. 2018). Sztyepp klímában az erdőgazdálkodás jelenlegi gyakorlata megkérdőjeleződik.

A klímaváltozás hatása már a termőhelyosztályozásra korábban is kihatással volt (Bidló et al., 2003). A klímaváltozás magyarországi erdészeti hatásaival számos kutatás foglalkozott

az elmúlt időszakban (MÁTYÁS & CZIMBER 2000, SOMOGYI 2024). Készültek a klímaváltozás erdészeti hatásainak enyhítéséhez döntéstámogató rendszerek (CZIMBER & GÁLOS 2016, MÁTYÁS et al. 2022).

Több kutató vizsgálta az aszálykárokat műholdas távérzékeléssel (Molnár, Czimber). A légi kisrepülőgépes és drónos, valamint földi lézerszkennelés hatékonyan alkalmazható az állományok dendrometriai és egészségügyi felmérésében (CZIMBER et al. 2025, SZÁSZ et al. 2025). A légi távérzékelés kiváló módszer a domborzati viszonyok finom léptékű kirajzolásában, mely összefüggésben áll a famagassággal (SZÁSZ et al. 2024).

A magyarországi erdészeti gyakorlatban alkalmazott általános termőhelyi (talajtani) alapvizsgálati módszerek önmagukban nem alkalmasak az olyan területek vizsgálatára, ahol az erdőállományok természeti feltételei a klímaváltozás hatására drasztikusan megváltoztak vagy leromlottak az elmúlt évtizedekben.

Kutatásunk célja a kritikus érzékenyséű dél-alföldi, aszálynak erősen kitett és aszálykárosult területek vizsgálata többfázisú távérzékeléssel (műholdas, légi, földi), valamint a víz-tartó képességre fókuszáló termőhelytérképezéssel. További cél az aszálykárosult állományrészek és a mellette lévő még vitális állományok termőhelye közötti különbségek feltárása.

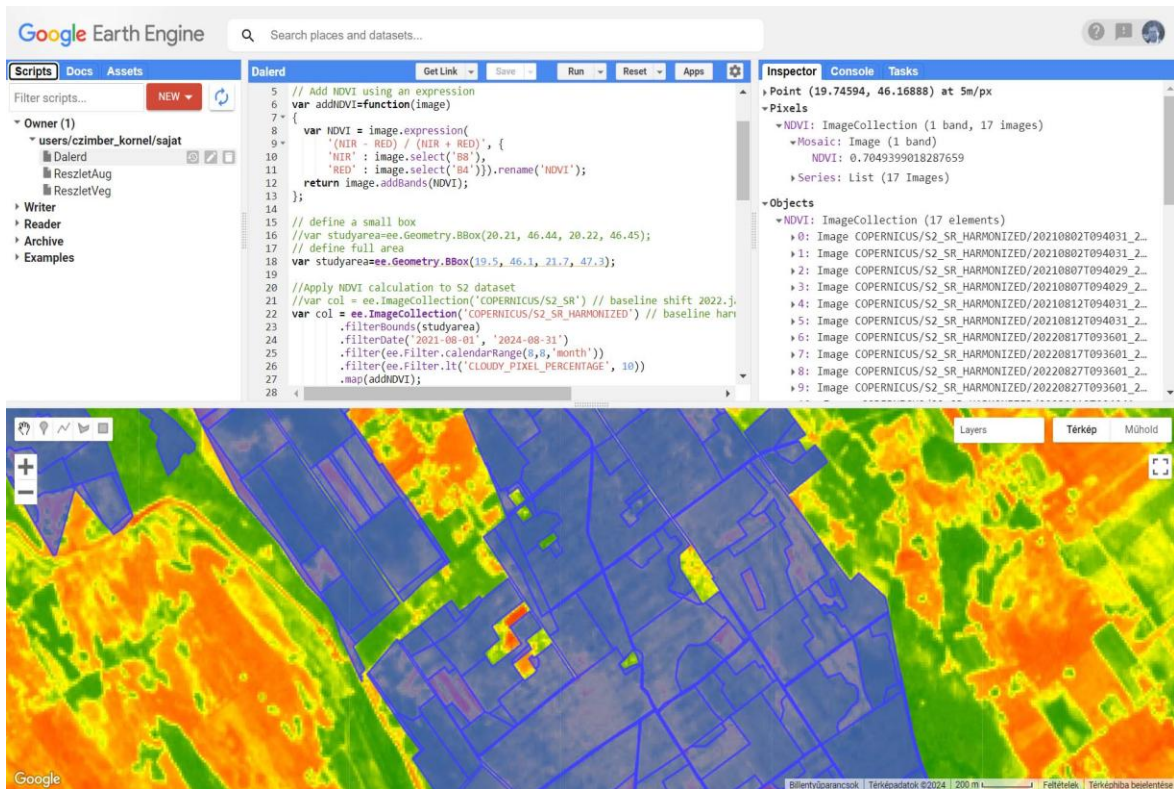
Anyag és módszer

A módszertanunk négy távérzékelési, egy termőhelyi részre bontható. A távérzékelési feladatok az optikai műholdas feldolgozás, drónos lézerszkennelés, drónos multispektrális felmérés, földi lézerszkennelés lépésekből áll. A termőhelyi rész közvetlen termőhelyfeltárást, talajszelvény leírást és labor kiértékelést takar. A talajvizsgálatok kiegészültek a talaj pórus-terének és szemcseösszetételének jellemzésére irányuló bolygatatlan mintavételezéssel és a hazai erdészeti gyakorlattól eltérő felbontású mechanikai elemzéssel, abból levezethető diszponibilis víz szakirodalmi, hidrológiai modellezésen alapuló meghatározásával.

A műholdfelvételeket a dél-alföldi régióban, a DALERD Zrt. teljes területén elemeztük. A további vizsgálatokat három kijelölt területen végeztük. Első terület Ruzsa 6-7 erdőtagjai, jellemző állományok erdeifenyő, feketefenyő, szürke nyár állományok, humuszos homoktalajok közép mély termőréteggel. Második terület Derekegyház 9-13 tag (T-erdő) kocsányostölgy és magaskőrös állományok, agyagos típusos réti talajok közép mély termőréteggel. Harmadik terület Körösladány 29-es tag, kocsányostölgy, magaskőrös állományok, agyagos öntés réti talajok közép mély termőréteggel.

Műholdas optikai felmérés

A műholdas elemzéshez Sentinel-2 műholdfelvételek idősorát és Google Earth Engine felhő alapú képfeldolgozó rendszert használtunk (1. ábra). Külön elemző eljárást készítettük, mely 2021-2024 évekre leválogatja a területet lefedő felhőmentes augusztusi Sentinel-2 képcempéket. Ezután számoljuk a NDVI értékeket, majd a felvételek közül a havi maximális NDVI értéket választjuk ki. A kiválasztott értékeket erdőrészekre aggregáljuk és exportáljuk térképi és statisztikai kiértékelés céljából.



1. ábra: Műholdas aszálykár becslés a Google Earth Engine-ben

Drónos aktív távérzékelés

A drónos lézerszkennelés célja, hogy egy repüléssel viszonylag nagy erdőterületről (100 ha) pontfelhőt állítsunk elő, majd ebből dendrometriai paramétereket vezessünk le egyesfa szinten. A lézerszkennelést egy DJI Matrice 350 RTK típusú drónra szerelt, DJI Zenmuse L1 típusú lézerszkennelést végeztük. A szenzor maximális működési tartománya 450 m megfelelő reflektancia esetén, maximális teljesítménye pedig elérheti a másodpercenkénti 480 ezer pontot. A vízszintes pontosság 10 cm 50 m-es távolságon, a függőleges pontosság pedig 5 cm. A mérést valós idejű kinematikus helymeghatározással (RTK) végeztük, a pontfelhőt a DJI Terra és dotXpert szoftverrel dolgoztuk fel.

Drónos optikai távérzékelés

A felvételezés célja nagyfelbontású vegetációs index térkép és lombkorona felszínmodell előállítás, melyhez DJI Mavic 3 Multispectral típusú drónt használtuk. A drón a 20 MP-es RGB kamera mellett, 5 MP-es vörösel, közeli infravörös szenzorokat is hordoz. A repülési tervek elkészítése a légi lézerszkenneléshez hasonlóan a DJI Pilot 2 felületén történt, ahol 100 méteres repülési magasságot, 85%-os bázisirányú és 75%-os sorok közötti átfedést állítottunk be. A georeferálás RTK módszerrel történt. Az előfeldolgozást a DJI Terra multispektrális moduljával végeztük, amely többsávos ortofotókat, fotogrammetriai pontfelhőket és különböző vegetációs indexeket eredményezett.

Földi lézerszkennelés

A földi lézerszkennelést és végeztünk a pontos törzsátmérő meghatározás és a drónos lézerszkennelés kalibrálása céljából több erdőrészletben. A felmérést Stonex X120^{GO} kézi lézerszkennelést végeztük fenyő és lombos állományban egyaránt vegetációs időszakon kívül. A feldolgozáshoz GOapp+dotXpert szoftvereket használtunk. Három erdőrészlet teljes felmérésére került sor, további erdőrészletekben vonalas és körös mintavételt végeztünk, összesen 8 felmérési állomány áll rendelkezésre. Néhány részletben sűrű és magas

aljnövényzet volt, itt a törzsfelismerést nem a 1,1-1,5 méteres tartományban, hanem 2-3 méteres között végeztük és a sudarlósság alapján kalkuláltuk a mellmagassági átmérőt.

Termőhely vizsgálat

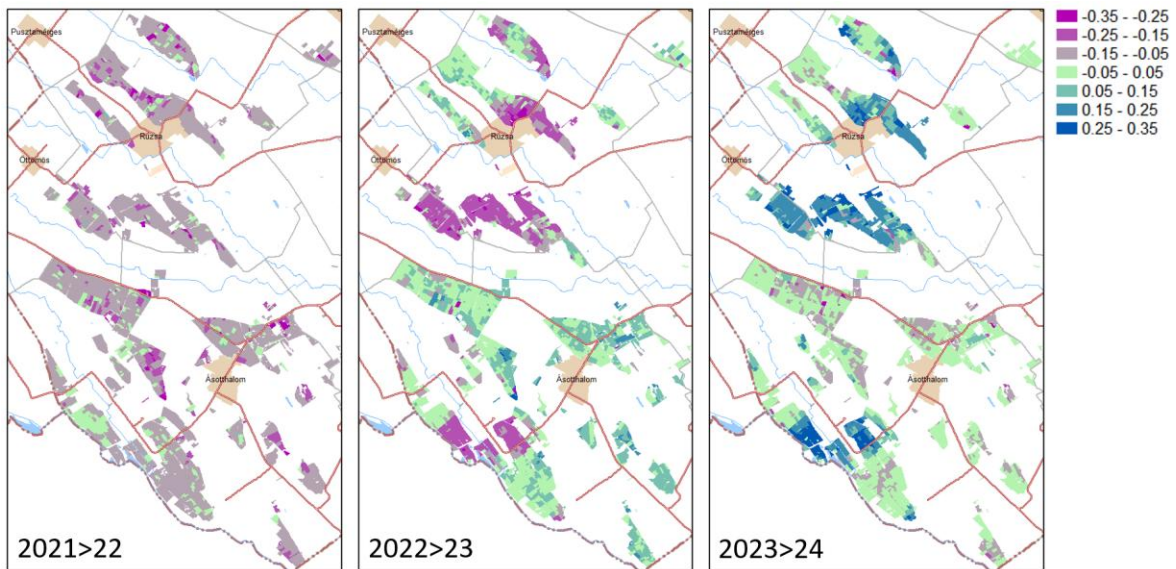
Műholdas és drónos felvételen azonosított aszálykárosított területeken talajszelvény pontokat jelöltünk ki és a helyszínen talajszelvényeket nyitottunk, melyek leírását és laboratóriumi kiértékelését végeztük el. A termőhelyfeltárás kutatás során a 36/2010-es FVM rendeletben előírt alapvizsgálatokon felül, olyan talajtani-, termőhelyfeltárási és értékelési eljárást végeztünk, amely a terület vízgazdálkodásával összefüggésbe hozható. Talajszelvényenként termőhelyi szakvélemény készítettünk, különös tekintettel a helyszín víztartó kapacitására és talajhibáira. Vizsgálatok sorrendje: talajmintavétel, szemcseösszetétel, humusztartalom, talaj póruster meghatározása. Ezen felül meteorológiai adatsor elemzése és Thornthwaite-féle hidrológiai modell futtatása. Utóbbi egy egyszerű, robosztus módszer a talajban a növények számára felvehető formában tárolt (diszponibilis) vízkészlet potenciáljának becslésére a termőrétegben. Bemenő adatként a talaj szöveti összetételét, a csapadék- és potenciális evapotranspiráció (aktív növényi párologtatás és passzív, talajfelszínről történő kipárolgás) adatokat használ fel. Ezt a modellt az általunk vizsgált, többletvízhatástól független termőhelyeken lehetett felhasználni.

A vizsgált területen a faállományok egyetlen vízforrása a csapadék ill. annak különböző megjelenési formái (eső, hó, harmat, stb.). Azt, hogy ebből a növényzet mennyit tud hasznosítani, a talaj vízfelvevő, víztároló képessége és a légköri viszonyok (hőmérséklet, páratartalom) határozzák meg. A vízkörforgalom összetett folyamatát tudományosan megalapozott módszertan, az ún. Thornthwaite-féle hidrológia modell segítségével jellemezzük (S. Lawrence Dingman, 2002). Felhasználjuk továbbá Rajkai Kálmán akadémikus számítási módszertanát a talaj víztároló képességének jellemzésére (Fodor és Rajkai, 2005).

Eredmények

Műholdas optikai felmérés

A NDVI idősor és az egyes időszakok közötti változások (2. ábra) erdőrészetenként elemezhetők, a változások összevethetők a klimatikus adatokkal, aszályos időszakokkal. A 2022-es aszály egyértelműen azonosítható, de a komolyabb kár 2023-ban jelentkezett. Érdekes, hogy néhány károsult részletben az NDVI érték 2024-ben emelkedik. Ezeket a helyszínen ellenőriztük, és ennek oka az alsó szinten megjelenő zöldjuhar, ostorfa vagy egyéb zöld vegetáció megjelenése. Ennek tükrében a képfeldolgozást további lépésekkel egészítettük ki, nevezetesen a váltás fenyő állományról lomb állományra, vagy idős állományról váltás fiatal állományra. Ezeket a látható vörös és közeli infravörös sávok együttes vizsgálatával tudjuk megtenni, a vörös és infravörös értékek eltolódásából.



2. ábra: NDVI változások az egyes évek között az ásothalmi régióban

Vizgáltuk az NDVI változások termőhelytípus-változat szerinti átlagértékeit, amely kirajzolta, hogy mely területek esetén történt a legnagyobb vegetációs index visszaesés (*hidrológia*=TVFLN; *termőréteg*=ISE, SE; *fizikai talajféleség*=H, V; *genetikai talajtípus*=HH, MLCS, SZRSZC). Elemeztük a műhold adatokat faállományok szerint is, NDVI változás átlagot képezve minden faállománytípusra. Ezek alapján az EF, FF állományok a leginkább érintettek (3. ábra).

Hidrológia	Darab	NDVI változás	Rövid
1	2370	-0.07	TVFLN
2	1072	-0.03	VALT
4	2279	-0.04	IDŐSZ
5	733	-0.03	ALLV
6	134	-0.03	FELSZ

Fizikai talaj	Darab	NDVI változás	Rövid
3	2402	-0.06	H
5	556	-0.06	V
6	201	-0.05	AV
7	3417	-0.03	A

Gen. Talaj	Darab	NDVI változás	Rövid
150	2370	-0.06	HH
210	343	-0.03	NYÖ
220	695	-0.04	HÖ
510	67	-0.07	KCS
520	45	-0.10	MLCS
530	338	-0.05	RCS
640	57	-0.10	SZRSZC
710	1772	-0.03	TR
740	187	-0.05	
750	327	-0.04	
920	257	0.00	ÖE

Termőréteg	Darab	NDVI változás	Rövid
1	30	-0.14	ISE
2	514	-0.08	SE
3	4527	-0.04	KMÉ
4	1481	-0.04	MÉ
5	45	-0.02	IMÉ

Faáll.	Darab	NDVI változás	Rövid
25	700	-0.04	KST
26	108	0.01	KST-CS
27	51	-0.05	KST-HNY
29	390	-0.03	KST-K
30	335	-0.05	KST-EL
32	106	-0.01	CS
34	59	0.00	CS-KST
36	93	-0.01	CS-EL
44	506	-0.04	A
46	186	-0.06	A-HNY
47	113	-0.05	A-EL
54	152	-0.04	K-T
55	115	-0.05	K-E
58	345	-0.06	EKL
59	520	-0.03	NNY
66	439	-0.05	HNY
68	433	-0.06	HNY-A
70	193	-0.03	HNY-EL
74	119	-0.03	FÜ-E
82	184	-0.07	EF
89	127	-0.08	EF-F
90	439	-0.07	FF
93	117	-0.06	FF-EL
94	171	-0.07	FF-F

3. ábra: NDVI változások a régióban termőhelytípus-változat és faállománytípus csoportokban

Drónos aktív távérzékelés

A drónos lézeres felméréssel készült pontfelhő sűrűsége 500 pont/m², melyben a törzsek helyzete, fák koronája szépen kirajzolódik, de törzsméret nem becsülhető, mert a szenzor szórása 100 méteres relatív magasságban túlságosan nagy, 8-10 cm körüli. A törzseket lentről-felfelé szegmentálással szét tudtuk választani, magasságot és koronaméretet faegyenként

meg tudtuk határozni. A magasságból és a lombkorona méretből, illetve a törzs körüli pontok szórásából lehetséges volt a törzsátmérőt levezetni 4-5 cm-es pontossággal.

Drónos optikai távérzékelés

A multispektrális drónos felvételekből nagyfelbontású NDVI térképeket állítottunk elő, melyen az aszályos lombkoronák, facsoportok azonosíthatók. Ez a térkép segítette a talajszelvény pozíciók térképi kijelölésében, hogy az egymáshoz közeli egészséges és az aszálykárosult erdőfoltokat jelöljünk ki.

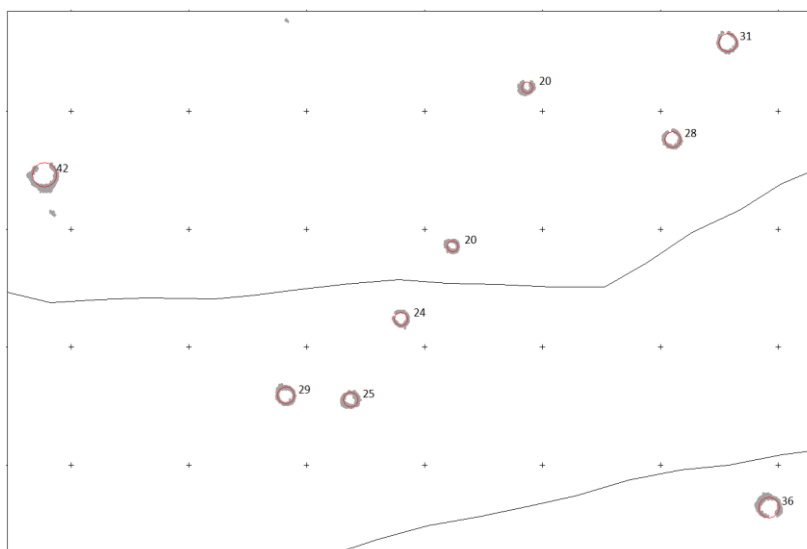
A feldolgozás során borított felszínt is előállítottunk, amely alapján a felső lombkoronaszint koronáit el tudjuk különíteni voxel aggregáción alapuló szegmentálással. A lombkorona poligonokra az NDVI értékeket összesítettük és előállnak a faegyedenkénti NDVI átlagok, melyek alapján az egyes fák károsítási kategóriába tudjuk sorolni. A fakorona poligonok és az ortofotó poligonon belüli RGB értékei, valamint textúrája alapján lehetőség van a fafajok osztályozására is.



4. ábra: Nagyfelbontású NDVI térkép a Ruzsa 6-9 erdőtagokról

Földi lézerszkennelés

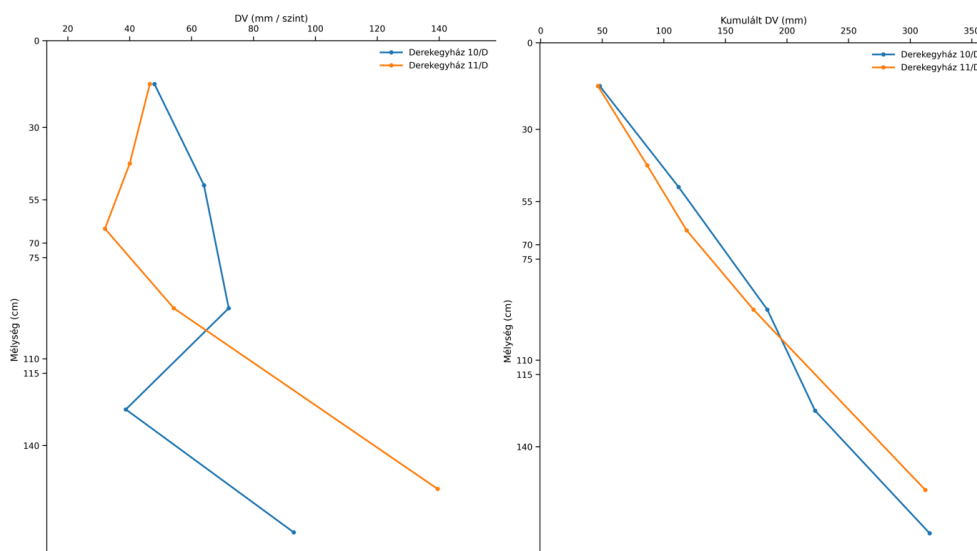
Erdőrészetek kézi lézerszkennelésének eredménye egy törzstérkép, mely a faegyedenként pozíció, átmérő, magasság, lombkorona sugár és fatérfogat attribútumokat tartalmaz. Referenciamérések alapján az átmérő becslés pontossága 1-2 cm közötti, a famagasságé 2-4 dm. A felmérés alkalmas a drónos lézeres felmérés eredményeinek kalibrálására. A felmérési terület teljes erdőrészlet, mintavételi sáv vagy mintavételi kör. Utóbbi kettő esetén területarányosítással becsülhető a részlet dendrometriai leírása.



5. ábra: Földi lézerszkenneléssel előállított törzstérkép törzspoziókkal és átmérőkkel
Termőhely vizsgálat

A talajvizsgálatok során a legfontosabb, víz- és tápanyaggazdálkodással összefüggésbe hozható paramétereket elemezzük a laborban. Ezek a talaj kémhatása, szén-savas mésztartalma, összesség %-a, fenolftalein-lúgossága, mechanikai összetétele, térfogattömege, humusztartalma. A Rajkai-féle modell alkalmazásával meghatározott pF-értékeket kapunk, amely kimeneti adatai között szerepel a diszponibilis víz mennyisége mm-ben. A Thornthwaite-féle modell alkalmazásával megbecsülhetjük, hogy egy adott helyen az év során mennyi víz érkezik (csapadék), mennyi víz távozik párolgás és a növények vízleadása (evapotranszpiráció) miatt, mennyi víz marad a talajban és mikor van vízhiány vagy épp vízfelesleg (lefolyás, beszivárgás).

A laborvizsgálatok még zajlanak, az eddigi eredményekből egyértelműen látszik, hogy nincs talajhiba, egyedüli termőhelyi gond, hogy nincs elegendő víz. A Thornthwaite modell igazolja azon gyakorlati megfigyelést, hogy a talajok diszponibilis vízkészletei kiürültek. A vizsgálatba vont három helyszínen egymáshoz viszonylag közel álló, egészségi állapotát tekintve gyenge vagy már elszáradt állományok termőhely-foltjait vetettük össze az egészségesnek tűnő állomány foltok termőhelyeivel (6. ábra).



6. ábra: Elszáradt (bal) és egészséges (jobb) állomány diszponibilis víztartalma

A két talajszelvény jellemző fizikai félesége a feltalajban agyagos vályog ill. iszapos agyag, az altalajban mindkét szelvény esetén iszapos agyagos vályog. 200 cm-re összesítve a diszponibilis víz mennyiségét a Derekegyház 10/D 316 mm, a Derekegyház 11/D pedig 312 mm. Ez a két érték azt mutatja, hogy gyakorlatilag a teljes gyökérmélységet, ill. termőréteget figyelembe véve a két talaj víztartóképesége ugyanakkora. Az állományok egészségi állapotában fellelhető különbség így a talajok vízgazdálkodására közvetlenül nem vezethető vissza.

A vízháztartás mellett a talajok egyéb fizikai és kémiai tulajdonságaiban sem mutatható ki jelentős különbség. A Derekegyház 10/D talajának vizes pH-értéke a feltalajban 6,0-6,6, mészmentes, CaCO₃ csak 70 cm alatt jelentkezik 15 %-kal, ami talajhibát nem jelent. A pH-érték ebben a mélységben 8,2, ami további, kedvezőtlen, esetleges szikesedéssel összefüggő talajhibát nem mutat. Ezt erősíti meg, hogy az összes-só % 0,02 % alatti, a fenolftaleinlúgosság pedig csak nyomokban fordul elő. A humusztartalom kedvező a felső 70 cm-ben 2,1-3,8 % közötti, jó szerkezetű, laza talajt eredményez. A Derekegyház 11/D erdőrészlet talaja nagyon hasonló eredményeket mutat, a pH 5,8-6,2, a CaCO₃ 55 cm alatt 13%. A humusz mennyisége 55 cm-ig 2-3%. Mivel a talajok fizikai-, kémiai talajtulajdonságaiban nincs különbség, az állományok egészségi állapotát egyéb tényezők kell még, hogy befolyásolják.

Derekegyház 10/D és 11/D talajszelvényeinek fizikai-, és kémiai tulajdonságai nagyban hasonlítanak egymáshoz, szignifikáns különbség a két termőhely között nincs. Agyagtartalmuk 40-50 %, míg a harmadik termőhelyen, a Ruzsa 6/B három talajszelvényében az agyagtartalom 1-5%, ami a 200 cm-re vetített DV közel 300 mm-es mennyiségével szemben elenyésző, 50-60 mm. Ennek ellenére pusztuló és egészségesebb állományfoltok egyszerre jelennek meg az egyes erdőrészletekben.

Következtetések

A többfázisú idősoros és nagyfelbontású távérzékelés rámutat a régiót sújtó aszályra. A három fázis, műholdas, légi, földi távérzékelés egymást hatékonyan egészíti ki és térképezi egyre pontosabban a károsult erdőterületeket. Az észlelt aszálykár komoly erdőgazdálkodási problémákat vetít előre, melyre megoldást nem könnyű találni.

Az erdőfelújítások tervezésénél - gyakorlati szempontból - egyre kevésbé tartható az a megközelítés, hogy kizárólag az „őshonos” fafajokhoz ragaszkodunk, miközben a termőhelyi feltételek (különösen a klíma és a hidrológiai viszonyok) érdemben megváltoztak. A jövőben ezért az ökoadekvát (a módosult környezethez jobban illeszkedő) fafajok és a megváltozott feltételekhez igazított erdőművelési eljárások keresése indokolt. Javasolható az erdőtelepítések és erdőfelújítások tőszám-előírásait, valamint a záródást csökkenteni, mert a túl nagy induló állománysűrűség fokozza a vízkonkurenciát és növeli a telepítés vagy felújítás sikerességének kockázatát.

Ugyancsak fontos, az elegyesség kérdése. Az erdei-, és feketefenyvesek erdőművelési szempontú átalakítása több okból is szükséges: a fenyvesek lombkoronája és avarrétege általában nagyobb intercepciós veszteséget okoz, mint a lombos állományoké, így kevesebb víz jut el ténylegesen a talajig. Emellett a fenyvesek gyökérzete sok esetben sekélyebb és sérülékenyebb vízhiányos időszakokban, ami tovább növeli az aszályérzékenységet. Ennek megfelelően reális irány lehet a lombos fafajokkal történő elegyítés, kisebb egyedszám és kissé alacsonyabb záródás kialakítása, valamint – termőhelyhez igazodóan – a vágásérettség csökkentése.

A művelési ág váltás (például gyepké alakítás) elvi lehetőség, de általános megoldásként csak korlátozottan indokolt. A gyepállományok májustól augusztusig gyakran kiszáradnak, ráadásul sok térségben a gyepvegetáció jelentős része invazív fajokból áll, ami hosszú távon stabilitási és természetvédelmi kockázat. A gyep többnyire korlátozottan alkalmas a szénkészlet megőrzésére, biodiverzitása gyakran alacsonyabb, és a futóhomok megkötésére sem ad megbízható védelmet.

Ezért erdőgazdálkodási szempontból terméketlenné minősítés, gyep formában tartás legfeljebb futóhomokos területeken javasolható. Más termőhelyeken a prioritás az erdőborítást ökoadekvát fafajokkal, alacsonyabb állományosűrűséggel és vízháztartáshoz igazított erdőműveléssel tartásuk fenn, még ha ez a megszokottól eltérő erdőképet eredményez.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondunk DALERD Zrt-nek, hogy a kutatást támogatták. A drónok és szenzorok beszerzése a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal Tématerületi Kiválóság Program TKP2021-NVA-13 azonosító számú projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- MÁTYÁS CS. – CZIMBER K. (2000): Zonális erdőtakaró mezoklíma szintű modellezése: lehetőségek a klímaváltozás hatásainak előrejelzésére. In III. Erdő és Klíma Konferencia. pp. 83–97.
- BIDLÓ A., KOVÁCS, G., HEIL, B. (2003): A magyarországi erdészeti termőhely-osztályozás és ennek problémái in: Gaál Zoltán (szerk): Földminősítés és földhasználati információ a mezőgazdaság versenyképességének javításáért, Veszprémi Egyetem, Keszthely, Magyarország, pp. 115-124.
- FODOR, K. ÉS RAJKAI K. (2005). Számítógépes program a talajok fizikai és vízgazdálkodási jellemzőinek egyéb talajjellemzőkből történő számítására (TALAJTANonc 1.0). *Agrokémia és Talajtan* 54 (1-2), pp. 25-40.
- SOMOGYI Z. (2024): Hogyan dolgozhatjuk ki a legjobb klímaváltozási stratégiát?? In: Czimber, Kornél; Vágvölgyi, Andrea; Kovács, Gábor (szerk.) Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa 2024. Sopron, Magyarország, Soproni Egyetem Kiadó, 341 p. pp. 291-298, 8 p.
- CZIMBER K. – GÁLOS B. (2016): A new decision support system to analyse the impacts of climate change on the Hungarian forestry and agricultural sectors. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31(7), pp.664–673.
- MÁTYÁS, C. et al. (2018): Sustainability of Forest Cover under Climate Change on the Temperate-Continental Xeric Limits. *FORESTS*, 9(8).
- Mátyás, C. et al. (2022): A klímaváltozáshoz alkalmazkodás támogatása az erdészetben: Az Agrárklíma döntéstámogató rendszer. *LÉGKÖR: AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI INTÉZET SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA*, 67(1), pp.4–11.
- CZIMBER, K. – REKECKI, D. – ÁCS, N. (2023): Erdővédelmi műholdas monitoring rendszer fejlesztése. In *Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában XIV. : Theory meets practice in GIS*. pp. 61–66.
- MOLNÁR T. – SZABÓ A. – HORVÁTH B. – BOLLA B. (2024): Országos szintű aszályfelmérés Sentinel-2 űrfelvételeken, In: Czimber, Kornél; Vágvölgyi, Andrea; Kovács, Gábor (szerk.) Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa 2024 Sopron, Magyarország: Soproni Egyetem Kiadó (2025) 341 p. pp. 250-255, 6 p.
- SZÁSZ, B. – HEIL, B. et al. (2024): Investigation of the Relationship between Topographic and Forest Stand Characteristics Using Aerial Laser Scanning and Field Survey Data. *FORESTS*, 15(9).
- CZIMBER, K. – SZÁSZ, B. et al. (2025): Estimation of the Total Carbon Stock of Dudles Forest Based on Satellite Imagery, Airborne Laser Scanning, and Field Surveys. *FORESTS*, 16(3).
- SZÁSZ, B. – HEIL, B. et al. (2025): Comparison of Advanced Terrestrial and Aerial Remote Sensing Methods for Above-Ground Carbon Stock Estimation—A Comparative Case Study for a Hungarian Temperate Forest. *REMOTE SENSING*, 17(13).

VÍZIGÉNYES FAFAJOK TALAJVÍZFELVÉTELÉNEK RÉSZLETES VIZSGÁLATA EGY ALFÖLDI TERMŐHELYEN, A VÁLTOZÓ HIDROLÓGIAI VISZONYOK FÜGGVÉNYÉBEN

Detailed Assessment of Groundwater Uptake by Water-Demanding Tree Species
at a Lowland Forest Site in Response to Changing Hydrological Conditions

DOBÓ MÁRTON, BOLLA BENCE, SZABÓ ANDRÁS
Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet
dobo.marton@uni-sopron.hu

Kivonat

Az alföldi erdőkben az egyre szárazodó éghajlat és a megváltozó hidrológiai viszonyok kihívást jelentenek a talajvízhez kötődő fafajok számára. A talajvízszint süllyedésével a gyökérszóna vízfelvételi lehetősége fokozatosan csökken. Vizsgálatunkban egy kocsányos tölgyes és egy nemes nyáras állomány talajvízfelvételét elemeztük nagy időbeli felbontású talajvízszint-adatok alapján. Eredményeink szerint a vízfelvétel mértékét elsősorban az aktuális talajvízmélység határozza meg, továbbá mindkét faj esetében azonosítható egy optimális talajvízszint mélységi tartomány. A nemes nyár talajvízfelvétele a vegetációs időszak első felében intenzívebb, míg a kocsányos tölgy a nyár végén támaszkodik inkább a talajvízre. A talajvízsüllyedés hosszú távon jelentős kockázatot jelenthet a vízigényes erdőállományok fenttarthatóságával kapcsolatban.

Abstract

Forests in the Hungarian Great Plain are increasingly challenged by a drying climate and changing hydrological conditions, posing significant stress for tree species dependent on groundwater. As groundwater levels decline, the ability of root systems to access groundwater is progressively lost. In this study, we analysed groundwater uptake in a pedunculate oak and a hybrid poplar stand using high-resolution groundwater level measurements. Our results show that groundwater uptake is primarily determined by the actual groundwater depth, with both species exhibiting an optimal depth range for maximum uptake. Hybrid poplar shows more intensive groundwater use in the first half of the growing season, whereas pedunculate oak relies more strongly on groundwater toward the end of summer. Long-term groundwater decline may represent a substantial risk for the sustainability of groundwater-dependent forest stands.

Bevezetés

Napjainkban a változó termőhelyi tényezők hatására az egyes fafajok tűrőképessége és alkalmazkodóképessége határozza meg az erdőterületeink jövőjét. A magyarországi erdőterületek közül az alföldi erdőállományok különösen sérülékeny helyzetben vannak, hiszen ez a legszárazabb klimatikus adottságokkal rendelkező tájunk (BALOGH et al. 2017). Továbbá egyes területeken az eddig a sekély talajvízszintek által biztosított többletvízhatás a talajvízszintek mélyebbre süllyedésével csökken, vagy eltűnőben van (SZABÓ et al. 2023). Utóbbi jelenség különösen nagy problémát jelent a többletvízhatáshoz kötődő alföldi erdőtársulások jövőjét tekintve.

Az erdők vízháztartásával kapcsolatos kutatások már a XX. század első felében elkezdődtek Magyarországon (IJÁSZ et al. 1938). Ezzel párhuzamosan az alföldfásítási program keretében az Alföld erdősültsége jelentős mértékben növekedett (SOLYMOS et al. 2000). Az alföldi talajvízviszonyokat megfigyelő VITUKI az 1960-as évektől kezdődően havonta

Talajvízállás Tájékoztató Térképeket adott ki. A térképek segítségével az 1970-es évek elejétől nagy kiterjedésű talajvízszint csökkenést figyeltek meg a Duna-Tisza közén (MAJOR et al. 1994). Szignifikánsan a talajvízsüllyedés a 1971-75-ös időszakban kezdődött ezt követően az intenzitása növekedett (MAJOR-NEPPEL, 1988). A talajvízszint csökkenését okozhatja a beszivárgás (csapadékmennyiség) csökkenése, a párolgás növekedése, a talajvíz mélyebb rétegekbe szivárgása, illetve a talajvízből történő vízkivétel. A vízügyi szakemberek a jelenség kezdete óta egyetértettek abban, hogy a talajvízsüllyedést több tényező okozza, amelyek lehetnek környezeti és antropogén hatások.

A bár az erdők általánosságban a vízháztartásra gyakorolt pozitív hatásairól ismertek, a megnövekedett alföldi erdőterületek szerepe a talajvízsüllyedésben azok kezdete óta felmerül, mint ok. A témában számos kutatás született, amelyekben a szakemberek jellemzően különbözően ítélik meg az erdők szerepét a talajvízsüllyedésben (MAJOR et al. 1974, MAJOR-NEPPEL, 1988, SZODFRIDT et al. 1990). A kutatások a Duna-Tisza közti homokhátságra fókuszáltak hiszen itt a legnagyobb a talajvízsüllyedés mértéke. Összegezve a kutatások eredményeit a talajvízszint csökkenésének fő oka a megváltozott klimatikus és időjárási viszonyok, valamint a réteg- és talajvíz kitermelés. Az erdőterületek növekedését 10-15%-os arányban tekintik tényezőként a talajvízsüllyedésben (SZILÁGYI-VÖRÖSMARTY, 1993, PÁLFAI et al. 1994, VÖLGYESI et al. 2006).

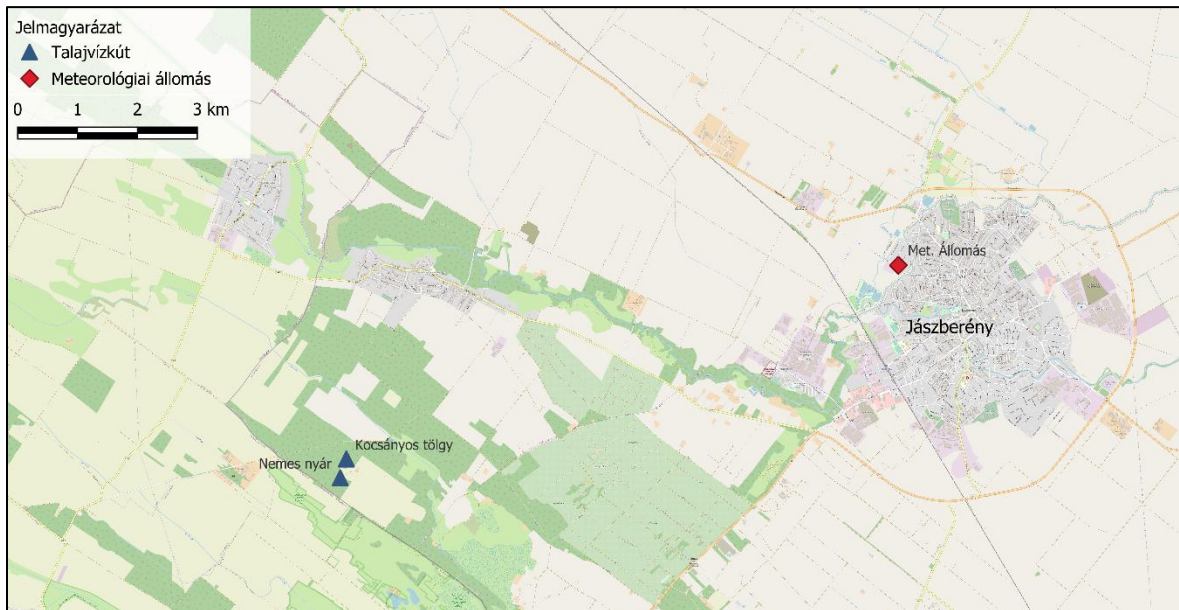
Később a különböző vegetációtípusok között az erdő napi talajvízfogyasztását vizsgálták kutatók. Az erdők nagyobb talajvízfelvételük miatt lokális talajvízszint depressziót hoznak létre egy szomszédos fátlan területhez képest, amelynek mértéke akár 0,9 méter is lehet (GRIBOVSKI et al. 2014) a vegetációs időszakban. Az erdőállományok alatt megfigyelhető éjszakai visszatöltődés ezért két útvonalon is zajlik. A talajvíz utánpótlás egyik forrása a mélyebb rétegekből felfelé áramló talajvíz, a másik pedig vízszintes irányú áramlás, amelyet az erdő napi vízfelvétele által okozott helyi talajvíz depresszió tesz lehetővé (SZABÓ et al. 2023).

Csáfordi et al. (2017) különböző fafajú erdőállományok esetében a talajvízből történő evapotranspiráció átlagos értékét közölte, amely a kocsányos tölgy állomány esetében 8.2 mm/nap, az akác állomány esetében 0,4 mm/nap volt, a nemes nyár állományok esetében 1.7 és 6.0 mm/nap között változott. A kutatás eredményeiből kimutatható, hogy a talajvíz napi ingadozását a fajlagos hozam (Sy), a talajvízfelszín mélysége, a meteorológiai paraméterek és a LAI (levélfelületi-index) befolyásolják szignifikánsan.

A jelenlegi kutatás a vízigényes fafajok talajvízfelvételét vizsgálja részletesen fafaj-specifikus talajvízfelvételi mintázatokat keresve akár a vegetációs időszakon belül. Célunk ezzel az ilyen fafajok talajvízfelvételének mélységi határának meghatározása és az azt befolyásoló tényezők megismerése. A fafajok reakciójának megértése a megváltozó hidrológiai körülményekre kulcsfontosságú lehet az állományok jövőjének tervezés szempontjából.

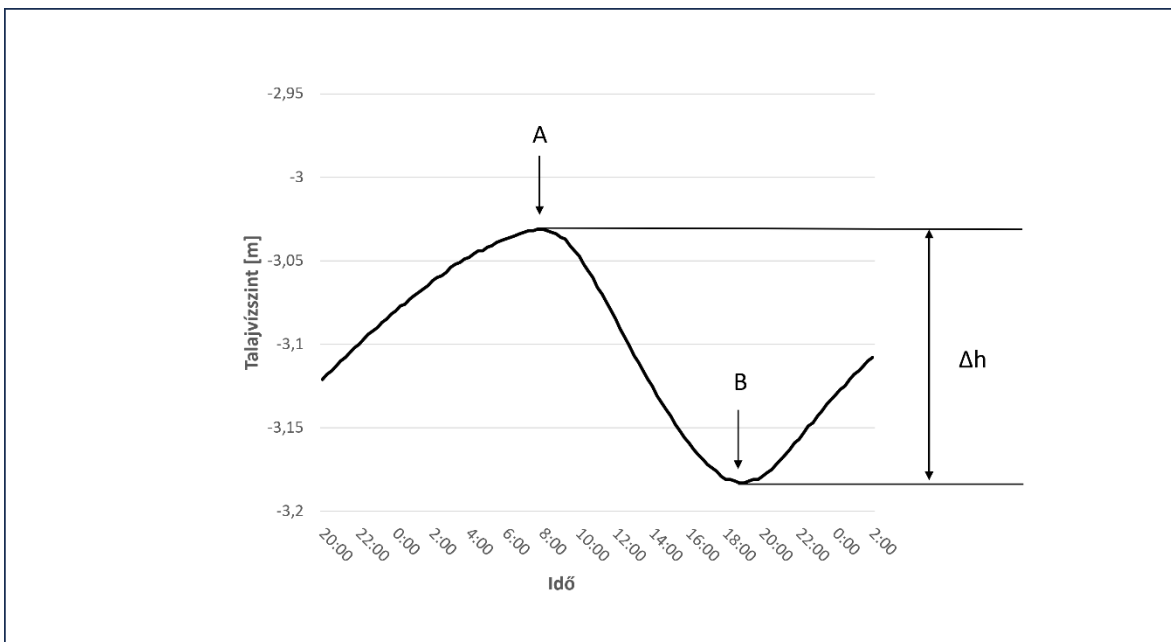
Anyag és módszer

A mintaterület a Jászságban, Jászfelsőszentgyörgy település községhatárában helyezkedik el. Ahol egy kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) és egy nemes nyár (*Populus x euramericana* cv. Agathe F) állományban zajlik nagy időbeli felbontású talajvízszint megfigyelés. A talajvízmegfigyelő kutak telepítése 2012-ben történt mindkét mintaterületen, 5 cm átmérőjű PVC csövek felhasználásával. A talajvízszintet 15 perces időközönként mérik a DA-LUB 222 típusú, légtér-kompenzált nyomásérzékelők, amelyek $\pm 0,2\%$ -os mérési pontosságot biztosítanak. A csapadék adatokat a vizsgálati helyszíntől 9 km-re található Jászberényi állomásról, az Országos Meteorológiai Szolgálatról szereztek be.



1. ábra: A vizsgált erdőállományok és a meteorológiai állomás elhelyezkedése.

Az erdőrészek napi talajvízfelvételét 2015-2024 között vizsgáltuk a vegetáció időszakban (április 1. – október 31.). A vizsgált erdők napi talajvízfelvételének mértéke közvetlenül nem került meghatározásra. Ehelyett a relatív vízfelvételi különbségeket a napi talajvízszint-ingadozás amplitúdójával jellemeztük (1. ábra). Az ingadozás azért alakul ki mert az erdőállományok napközbeni talajvízfelvétele következtében süllyedő talajvízszint az éjszaka folyamán (amikor nincs talajvízfelvétel) visszatöltődik, kialakítva ezzel egy napi ritmusú ingadozást. Mivel a két erdőállomány egymás közvetlen közelében helyezkedik el (2. ábra), a mintaterületek termőhelyi, talajtani és klimatikus adottságai gyakorlatilag azonosnak tekinthetők. Ennek következtében ezek a tényezők nem befolyásolják a napi talajvízszint-ingadozások összehasonlíthatóságát a két állomány között.



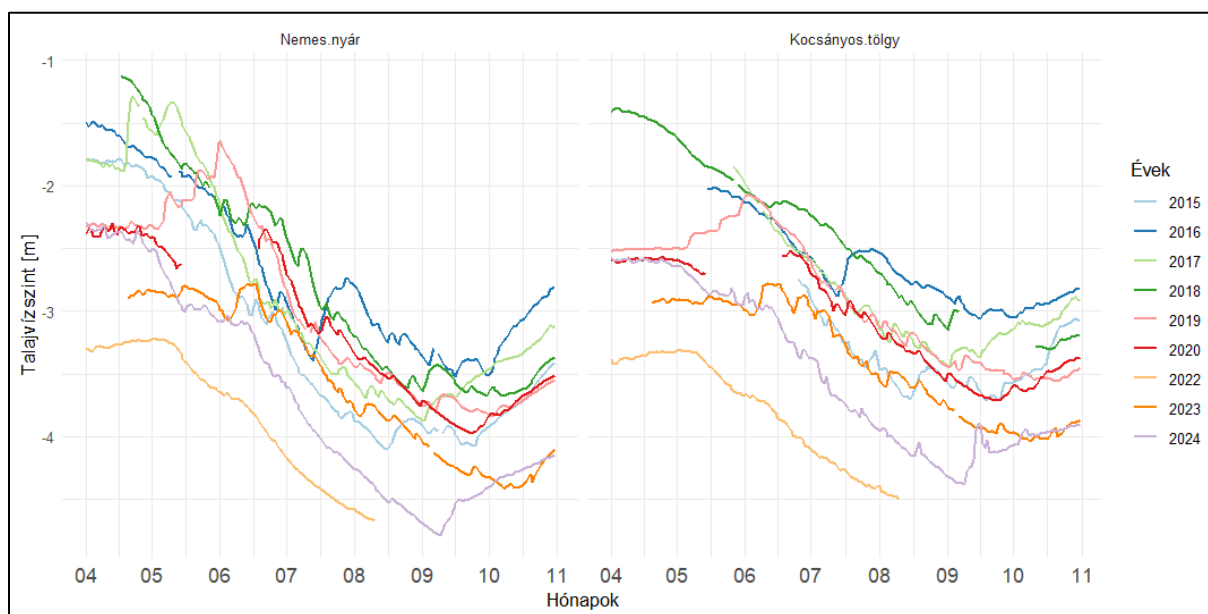
2. ábra: A napi talajvízszint-ingadozás és a helyi vegetáció talajvízfelvétele közötti kapcsolatot sematikus ábrázolása, az éjszakai visszatöltődési és a napközbeni talajvízfelvételi szakasszal. Az A pont a napi ingadozás csúcspontját, míg a B pont a mélypontot jelöli, Δh pedig az ingadozás amplitúdója, amellyel a napi talajvízfelvételt jellemezzük.

Egy korábbi kutatás során a nyári időszakra összpontosítva vizsgáltuk az erdőállományok talajvízfelvételét, kihagyva az elemzésből azokat az éveket, amelyekben adathiányos időszakok voltak (DOBÓ et al., 2025).

Az adatállomány rendszerezése és a hibás kiugró értékeket tartalmazó adatok eltávolítását követően, a talajvízfelvétel és az aktuális napi átlagos talajvízszint között kerestünk összefüggést. A napi talajvízszint ingadozás adatokat mélységi csoportokba rendeztünk a napi átlagos talajvízszint szerint, és dobozdiagramokon ábrázoltuk. A mélységi csoportok fél méteres intervallumokat fedtek le. A két fafaj talajvízfelvételi stratégiájának összehasonlítására a vegetációs időszakban minden hónapban külön ábrázoltuk a napi talajvízszint ingadozás értékeit dobozdiagramok segítségével. Mindkét elemzés tartalmazza a tíz éves időszakból vegetációs időszakaiból rendelkezésre álló összes adatot. Adathiányos időszakok sajnos szinte minden évben jelentkeznek, amelyek a 3. ábrán megfigyelhetők. Sajnos a 2021-ben az egész vegetációs időszak adatállománya hiányzik.

Eredmények

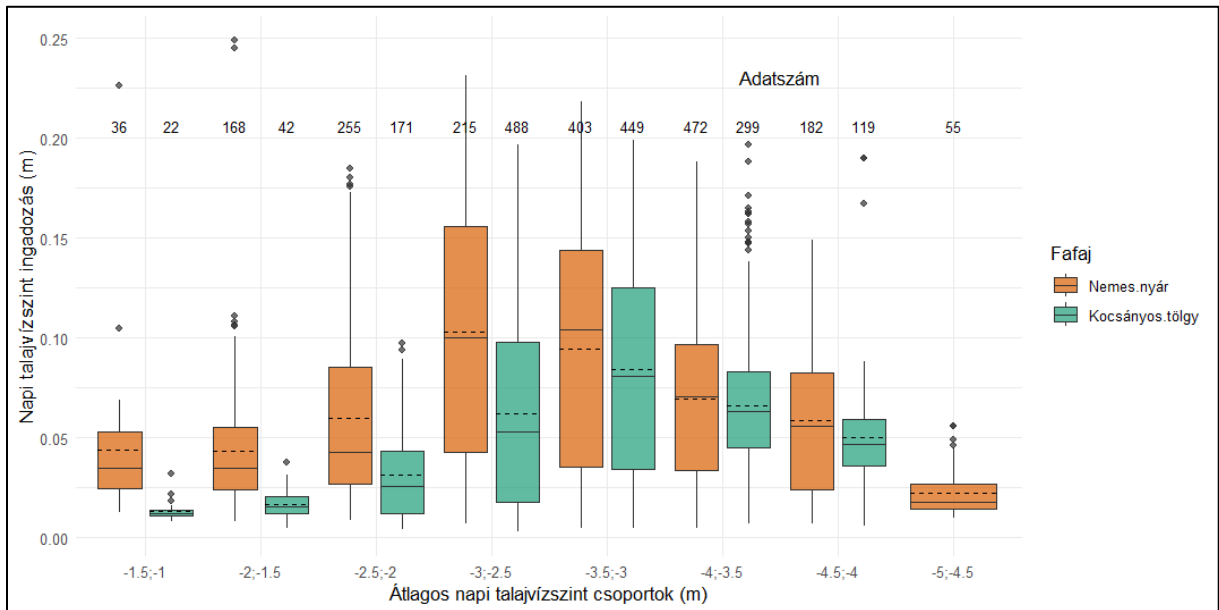
A mintaterületen a tíz éves időszakban folyamatos talajvízszint süllyedés figyelhető meg (3. ábra). Az idősorban éves fluktuációt okoz a vegetációs és nyugalmi időszakok váltakozása, előbbi során csökken, utóbbiban visszatöltődik a talajvízszint. A talajvízszintek menetének egyedi mintázatát a vegetációs időszakon belül az adott év csapadékviszonyai befolyásolják leginkább. A két állományban ezért az évek során hasonló mintázat látható, habár a nemes nyár állományban a talajvízszint görbék lefutása meredekebb.



3. ábra: A megfigyelt napi átlagos talajvízszintek váltakozása a mintaterületeken a vizsgált időszakban (2015-2024).

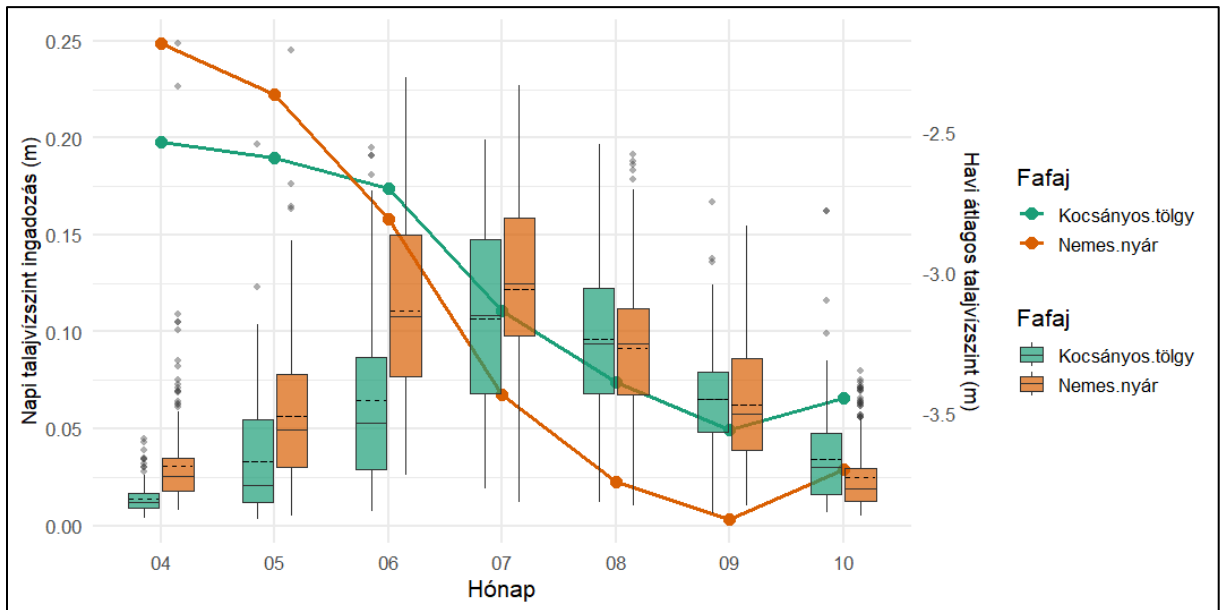
A görbék meredekebb lefutásából arra lehet következtetni, hogy a nemes nyár állomány talajvízfelvétele intenzívebb. Ezt a feltevést alátámasztja az, hogy Járó et al. szerint (1981) a nemes nyár éves vízigénye jelentősen meghaladja a kocsányos tölgyét. Azonban az erdőállományok talajvízfelvétele nem feltétlen csak az állomány alkotó fafajok vízigényétől függ, hanem a rendelkezésre álló talajvíz mennyiségétől és annak elérhetőségétől. A két fafaj napi talajvízfelvételét vizsgáltuk a napi átlagos talajvízszint függvényében (4. ábra). Megfigyelésünk szerint, a napi talajvízszint szerint fél méteres mélységi csoportokban ábrázolt napi talajvízszintingadozás értékeken, hogy a nemes nyár minden mélységi kategóriában nagyobb talajvízfelvétellel jellemezhető. Továbbá mindkét fafaj esetében megfigyelhető egy

talajvízszint mélységi tartomány, ahol a talajvízfelvétel maximális. Ez a tartomány a kocsányos tölgy esetében mélyebben található.



4. ábra: A talajvízszint napi ingadozásának amplitúdója a napi átlagos talajvízmélység függvényében, 0,5 méteres mélységi csoportokba rendezve. A csoportok adatszámát a felső tengely jelzi. A szaggatott vonal a csoportok átlagát, míg a folytonos vonal a medián értéket mutatja.

A két fajjal vegetációs időszakon belüli talajvízfelvételi stratégiai eltérések lehetnek, abból adódóan, hogy a gyökérzet számára optimum talajvízszint tartomány eltérő. A 5. ábrán láthatóak a napi talajvízszint ingadozás adatok a vizsgált tíz éves időszakban hónaponta csoportosítva. A nemes nyár a vegetációs időszak első felében jelentősen több talajvizet használ fel, mint a kocsányos tölgy, amit indokol annak nagyobb vízigénye. A kocsányos tölgy talajvízfelvétele a nyár közepén emelkedik meg, majd augusztustól kezdődően kis mértékben meg is haladja a nemes nyár talajvízfelvételét. A háttérben futó görbéken látható havi átlagos talajvízszint mindkét állomány esetében szeptemberre éri el a mélypontot. Fontos, hogy a nyár elejétől kezdődően a nemes nyár állomány alatt a talajvízszint közel fél méterrel mélyebbre süllyed, feltehetőleg az intenzívebb talajvízfelvétel következményeként. A talajvízfelvételi stratégiák a két fajjal esetében abban különböznek, hogy a nemes nyár inkább az vegetációs időszak első felében, míg a kocsányos tölgy annak második felében támaszkodik jobban a talajvízfelvételre. A nemes nyár esetében ezt az is okozhatja, hogy a nyár végére mélyebbre süllyedő talajvizet a gyökérzet már kevésbé éri el.



5. ábra: A dobozábrák a talajvízszint napi ingadozásának amplitúdóját mutatják a vegetációs időszak egyes hónapjaira (2015–2024 közötti időszak aggregált adatai alapján). A szaggatott vonal a havi adatok átlagot, míg a folytonos vonal a medián értékeket jelöli. A háttérben látható vonalak az adott hónapban megfigyelt átlag talajvízszintet ábrázolják a teljes 10 éves időszakra nézve.

Következtetések

A vizsgálat eredményei alátámasztják azt az alapvetést, hogy a talajvízfelvétel mértéke elsősorban az aktuális talajvízszinttől függ. Mindkét faj esetében megfigyeltünk egy optimális mélységi tartományt, amelyben maximális az erdőállományok talajvízfelvételének mértéke. Mivel a kocsányos tölgy esetében mélyebben van az optimum, a faj feltételezhetően tovább tűrheti a talajvíz süllyedését. Ezt a feltevést alátámasztja az is, hogy a mélyebb rétegekben a kocsányos tölgy hatékonyabb talajvízfelvételre volt képes.

A vegetációs időszakon belül különböző talajvízfelvételi habitust figyeltünk meg a faállományoknál. Az alapvetően nagyobb vízigényű nemes nyár a vegetációs időszak első felében sokkal intenzívebb talajvízfelhasználással jellemezhető. Míg a kocsányos tölgy talajvízfelvétele kiegyensúlyozottabb, a nyár végén és a kora őszi hónapokban meghaladja a nemes nyárasban tapasztalt értékeket.

Az alföldi vízigényes fajok számára a talajvízsüllyedés mindenképpen fontos kockázati tényezőként kezelendő az állományok hosszútávú fenntarthatóságával kapcsolatban. A kocsányos tölgy toleránsabbnak mutatkozik a talajvízszint süllyedéssel szemben. Habár a fajok talajvízfelvételének mélységi határát a talajvízszint itt még nem érte el, a mélyebb rétegekben az állományok vízfelvételi kapacitása a megfigyeléseinkből következtetve tovább csökkenhet.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00007 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a EKÖP-24-3-I pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BALOGH L. – BÁN I. – BERKI I. – BIDLÓ A. – BORUZS G. – BÖLÖNI J. – ... KOVÁCSEVICS P. (2017). Magyarország erdészeti tájai 1. Nagyalföld erdészeti tájcsoport. (E. Führer & P. Kovácsevics, Eds.). Budapest: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH).
- CSÁFORDI P. – SZABÓ A. – BALOG K. – GRIBOVSZKI Z. – BIDLÓ A. – TÓTH T. (2017). Factors controlling the daily change in groundwater level during the growing season on the Great Hungarian Plain: a statistical approach. *Environmental Earth Sciences*, 76(20), 675. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7002-1>
- DOBÓ M. – KALICZ P. – GRIBOVSZKI Z. – BOLLA B. – SZABÓ A. (2025). Long term analysis of groundwater uptake strategies based on groundwater level fluctuations in pedunculate oak and hybrid poplar forests in the Great Hungarian Plain. *Acta Hydrologica Slovaca*, 26(1), 162-171. 2644-4690. DOI: <https://doi.org/10.31577/ahs-2025-0026.01.0017>
- GRIBOVSZKI Z. – KALICZ P. – BALOG K. – SZABÓ A. – TÓTH T. (2014). Comparison of an Oak Forest and of a Pasture Groundwater Uptake and Salt Dynamics on the Hungarian Great Plain. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 10. <https://doi.org/10.2478/aslh-2014-0008>
- IJJÁSZ E. (1938). Grundwasser und Baumvegetation unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der Ungarischen Tiefebene (A fatenyészet és az altalajvíz, különös tekintettel az alföldi viszonyokra). *Erdészeti Kísérletek*, 40, 159–269.
- JÁRÓ Z. (1981). A hazai erdők vízfogyasztása. *Agrártudományi Közlemények: A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának Közleményei*, 40(2–4), 353–356.
- MAJOR P. (1974). Síkvidéki erdők hatásának vizsgálata a talajvízpárolgás és tényleges beszivárgás folyamataira. *Hidrológiai Közöny*, 6, 281–288.
- MAJOR P. (1994). Talajvízszint-süllyedések a Duna-Tisza közén. Pálfa I.(Szerk.): *A Duna-Tisza Közi Hátság Vízgazdálkodási Problémái*. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba, 17–24.
- MAJOR P. – NEPPEL, F. (1988). A Duna-Tisza közti talajvízszint-süllyedések. *Vízügyi Közlemények*, 70(4), 605–626.
- PÁLFAI I. (1994). Összefoglaló tanulmány a Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedés okairól és a vízhiányos helyzet javításának lehetőségeiről. *A Nagyalföld Alapítvány Kötetei*, 3, 111–125.
- SOLYMOS R. (2000) Afforestation Programmes in Hungary– A Story of Success. In: *NEFOR-new forests for Europe: Afforestation at the turn of the century*. European Forest Institute, 167-173.
- SZABÓ A. – GRIBOVSZKI Z. – SZOLGAY J. – KALICZ P. – BALOG K. – SZALAI J. – HLAVČOVÁ K. – BOLLA B. (2023). Groundwater Recharge from Below under Changing Hydro-Meteorological Conditions in a Forested and Grassland Site of the Great Hungarian Plain. *Forests*, 14, 2328. <https://doi.org/10.3390/f14122328>
- SZILÁGYI J. – VÖRÖSMARTY C. (1993). A Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedések okainak vizsgálata. *Vízügyi Közlemények*, 75(3), 280–294.
- SZODFRIDT I. (1990). Hozzászólás: Major Pál és Neppel Ferenc: A Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedése című cikkéhez. *Vízügyi Közlemények*, 72(3), 287–291.
- VÖLGYESI I. (2006). A Homokhátság felszín alatti vízháztartása – vízpótlási és vízvisszatartási lehetőségek. XXIV. Országos Vándgyűlés Kiadványa.

A HARKAI ÉS A BAJNAI AGRÁRERDÉSZETI JELLEGŰ TERÜLETEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA A POLLEN- ÉS MÉZMINTÁK ALAPJÁN

Comparison of the agroforestry-type areas of Harka and Bajna based on pollen and honey samples

DOMINKÓ EMESE¹, KOVÁCS ZOLTÁN², RÉTFALVI TAMÁS¹

¹Soproni Egyetem, Környezet- és Természetvédelmi Intézet

²Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet

dominko.emese@uni-sopron.hu

Kivonat

A jelen tanulmány az agrárerdészeti rendszerek ökológiai potenciálját és a klímaváltozásra adott ökoszisztéma-válaszokat vizsgálja a háziméh- (*Apis mellifera*) kolóniák által előállított kaptártermékek komplex analízisének keretében. Kutatásunk célja a vizsgált területek biodiverzitásának és a mézek minőségi paramétereinek értékelése, a 2022-es és 2023-as vegetációs időszak összehasonlítására alapozva. Két, eltérő karakterű agrárerdészeti jellegű mintaterületen végeztünk összehasonlító elemzést a méhek növényválasztási preferenciáinak feltárására. A taxonómiai azonosítás a gyűjtött pollencsomók és a mézminták pollenüledékének mikroszkópos vizsgálatával történt.

Vizsgálati eredményeink rávilágítanak, hogy szélsőségesen aszályos időszakokban a fás szárú növényzet szerepe kiemelkedő; ezek a fajok biztosítják a kolóniák túléléséhez és fejlődéséhez szükséges pollen- és nektárforrásokat a kritikus periódusokban. Eredményeink továbbá megerősítik a különböző mintatípusok eltérő indikációs jellegét: míg a harkai mézminták diverzitása a tágabb, mintegy 5 km-es, heterogén környezet fajgazdagságát (834 taxon) integrálta, addig Bajnán a pollencsomók a szűkebb, körülbelül 3 km-es körzet lokális virágzási dinamikáját tükrözték.

Összességében megállapítható, hogy a táji léptékű biodiverzitás megbízható becsléséhez és a környezeti változások érzékeléséhez elengedhetetlen a méz- és pollenanalízis korrelált, integrált értékelése.

Abstract

This study investigates the ecological potential of agroforestry systems and ecosystem responses to climate change through a complex analysis of hive products produced by Western honey bee (*Apis mellifera*) colonies. The research aims to evaluate the biodiversity of the study areas and the quality parameters of honey, based on a comparison of the 2022 and 2023 vegetation seasons. A comparative analysis was conducted at two agroforestry sites with distinct characteristics to explore the foraging preferences of the bees. Taxonomic identification was performed via microscopic examination of the collected pollen loads and the pollen sediment of honey samples.

Our results highlight the prominent role of woody vegetation during periods of extreme drought, as these species provide the pollen and nectar sources necessary for colony survival and development during critical periods. Furthermore, the findings confirm the distinct indicator potential of different sample types: while the diversity of honey samples from Harka integrated the species richness (834 taxa) of the wider, approximately 5 km heterogeneous environment, the pollen loads in Bajna reflected the local flowering dynamics of the narrower, approximately 3 km radius.

In conclusion, a correlated and integrated assessment of honey and pollen analysis is indispensable for the reliable estimation of landscape-scale biodiversity and the detection of environmental changes.

Bevezetés

Az agrárerdészeti rendszerek olyan integrált tájhasználati megoldások, amelyek a fás szárú vegetációt – tudatos tervezés mentén – kombinálják szántóföldi növénytermesztéssel és/vagy legeltetési állattartással egyazon termelési egységen belül (MOSQUERA-LOSADA et al., 2016; BOROVICS et al., 2017). Bár e gazdálkodási forma gyökerei évszázados múltra tekintenek vissza, a hazai gyakorlatban való ismertsége és elterjedtsége még mindig várat magára (VITYI et al., 2015). A nemzetközi trendek ugyanakkor azt mutatják, hogy a hagyományos monokultúrákkal szemben felmutatható gazdasági, társadalmi és ökológiai többletértékük miatt egyre nagyobb figyelem irányul e komplex rendszerekre (JOSE, 2009; VAN NOORDWIJK, 2019). Ezen vitathatatlan előnyök ellenére az agrárerdészet gyakorlati térnyerése globálisan és hazánkban is mérsékeltnak mondható.

A fás elemek mezőgazdasági környezetbe történő visszavezetése számos ökoszisztéma-szolgáltatást támogat: javítja a talajszerkezetet, mérsékli a szélsőséges mikroklímát, valamint élőhelyet és táplálékot biztosít a vadon élő fauna számára (NAIR, 2011; LAL ÉS STEWART, 2012; PARDON et al., 2017; DHALIWAL et al., 2018). Különös jelentőséggel bírnak a beporzó rovarok szempontjából: a folyamatos virágzási sor révén a teljes vegetációs időszakban stabil nektár- és pollenkínálatot, valamint biztonságos fészkelőhelyet nyújtanak (BENTRUP et al., 2019; VARAH et al., 2020). Zöld folyosóként funkcionálva összekötik a fragmentált élőhelyeket, ezzel elősegítve a biodiverzitás fenntartását és a beporzási szolgáltatások stabilitását (BULLOCK et al., 2007; FORBES et al., 2022).

Ezen összetett ökológiai rendszerek biodiverzitásának pontos felmérése azonban módszertani kihívást jelent. A klasszikus flóra- és vegetációtérképezés, bár elengedhetetlen a taxonómiai pontosságú „ground truth” adatok biztosításához, önmagában gyakran kevésnek bizonyul (CHEN et al., 2023). Az elmúlt évek technológiai fejlődése új távlatokat nyitott: a műholdas távérzékelés lehetővé teszi nagy kiterjedésű területek vegetációdinamikai monitorozását (BERGEN et al., 2009; GUO et al., 2017), míg a környezeti DNS (eDNS) vizsgálatok a teljes életközösségek (vízi, talaj- vagy levegőmintákból történő) nagy érzékenységgel történő detektálását teszik lehetővé (DEINER et al., 2017; SAHU et al., 2023). E modern eljárások hátránya azonban, hogy gyakran eszköz- és költségigényesek, továbbá nem minden esetben adnak választ a funkcionális ökológiai kérdésekre, például arra, hogy a beporzók ténylegesen mely forrásokat hasznosítják.

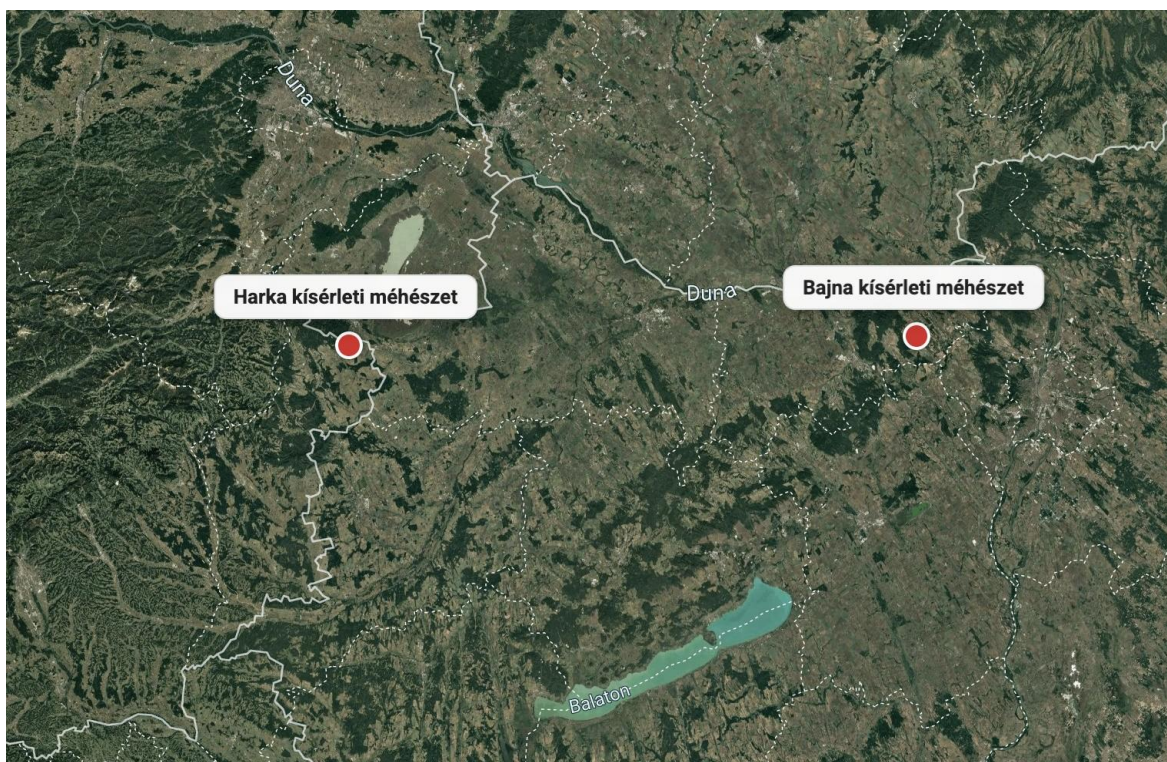
E hiányosságok áthidalására kiválóan alkalmasak a különböző bioindikációs eljárások, különösen a méh-biomonitoring (MCGEOGH, 1998). A házi méh (*Apis mellifera*) ideális indikátorszervezet, mivel nagy, 2-5 km-es röpkörzetében aktívan mintázza a környezetét, a begyűjtött anyagok pedig hűen tükrözik a terület botanikai összetételét. A kaptártermékek, különösen a pollen és a méz mikroszkópos analízisével egyetlen méhcsalád segítségével több négyzetkilométernyi területről nyerhetünk információt. Ez a módszer feltárja a fenológiai változásokat, a beporzók táplálékpreferenciáját, valamint az elérhető erőforrások szezonális dinamikáját (DOMINKÓ et al., 2023; DUPONT et al., 2025). A módszer egyik legnagyobb előnye passzív jellegében és költséghatékonyságában rejlik: a mintagyűjtést a méhek végzik, a kutatói munka az elemzésre korlátozódik. Ezen előnyök miatt a méh-alapú környezetmonitorozás nemzetközi szinten is felértékelődött [URL1], különösen azokon az ipari vagy intenzív agrárterületeken, ahol az ökoszisztémák rezilienciájának növelése a cél.

Jelen vizsgálatunk elsődleges célja a méhek táplálékválasztásának összehasonlítása különböző agrárerdészeti jellegű rendszerekben. Az elemzést melisszopolinológiai módszerekkel, azaz mikroszkópos pollenanalízissel végeztük. A kutatás alapját a harkai és a bajnai méhészetek területéről, a 2022-ben és 2023-ban gyűjtött virágpór- és mézminták adták. Kutatásunk során arra kerestük a választ, hogy a méhek mennyiben használnak azonos vagy eltérő növényfajokat a nektár- és a pollenforrások gyűjtésekor. Ennek érdekében elemeztük a méz mint szénhidrátforrás, valamint a pollencsomók mint fehérjeforrások növényi összetételét, és ezek közötti kapcsolatokat. Emellett összehasonlítottuk a két mintatípus diverzitását is, mivel a pollenspektrum gazdagsága jól jelzi a méhek által kihasznált ökológiai fülke szélességét és a kolóniák alkalmazkodóképességét a változó környezeti feltételekhez.”

Anyag-és módszer

A kutatási területek bemutatása

Az 1. ábrán szereplő térkép a vizsgált agrár-erdészeti jellegű területek térbeli elhelyezkedését és mozaikosságát szemlélteti.



1. ábra: A Harkán és Bajnán kihelyezett kísérleti méhészetek műholdas képe

A műholdas térképelemzés alapján (1. ábra) a harkai (47.623639; 16.571528) és bajnai (47.6453929; 18.5997092) mintaterületek eltérő dinamikájú, de egyaránt kiváló ökológiai feltételeket biztosítanak a méhészet számára. Harka szubalpin klímája és csapadékbősége a mozaikos erdő-szőlő tájban – ahol az akác, hárs és vadcsereesznye dominál – egy természetközelibb, mikroklimatikusan stabilabb környezetet teremt, amely kiegyenlített forráskínálattal és mézharmat-potenciáljával hosszú távon kedvez a méhcsaládok kondíciójának. Ezzel szemben a kontinentálisabb Bajna a tájhasználati sokszínűségre és elsősorban a mezőgazdasági kultúrák (repce, napraforgó) tömeghordására épít, amit az akác és a tavaszi fás szárúak egészítenek ki; ez a jól szervezett hordási lánc az erdei pufferezónák védelmével kiegészülve nagyobb térléptékben is rugalmas, diverzifikált táplálékbázist nyújt, így mindkét terület hatékony, bár eltérő stratégiájú méztermelést tesz lehetővé.

A vizsgálatokhoz felhasznált minták

A Bajna és Harka térségében (2022–2023) végzett botanikai felmérés alapját a beporzók által gyűjtött 22 pollencsomó- és 12 mézminta képezte. A pollencsomók mintavételezése Bajna esetében 13 (2022: 6, 2023: 7), míg Harka esetében 9 (2022: 4, 2023: 5) alkalommal történt. A mézminták gyűjtése mindkét helyszínen egységes eloszlást követett: évenként 3–3, azaz telephelyenként összesen 6 mintát elemeztünk. A vizsgálat célja a helyi flóra és a változó időjárási körülmények hatásának feltárása volt a méhek taxonválasztási stratégiáira.

Melisszopalinológiai analízis

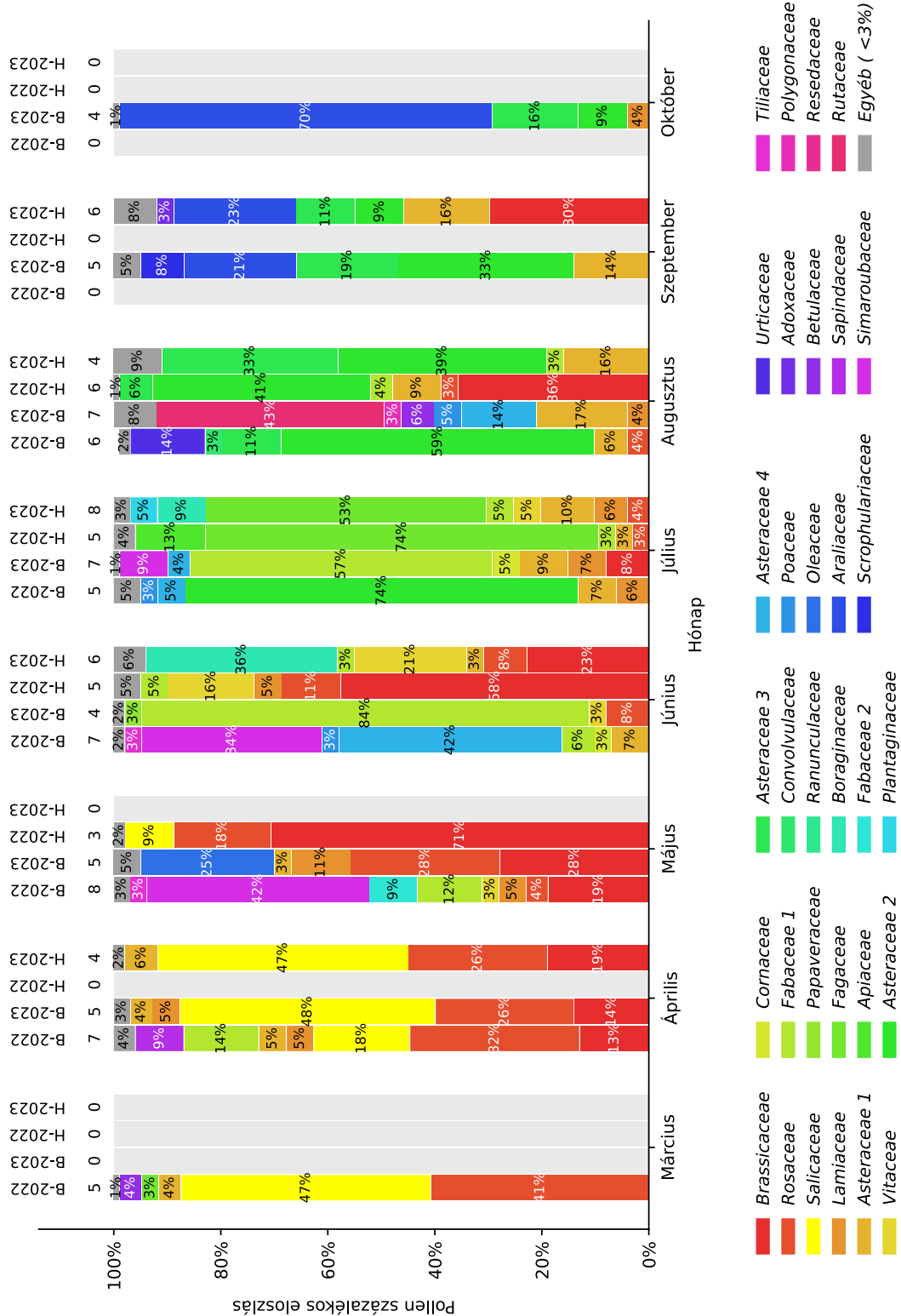
A vizsgálatok során alkalmazott eljárás a DOMINKÓ et al., (2025) című munkánkban leírt protokollon alapult. A minták tisztítása, ülepítése és a taxonómiai azonosítás lépései az ott közöltek szerint történtek.

A mikroszkópos analízis során detektált magas fajsám (20–150/minta) miatt az adatokat elsődlegesen családszinten összesítettük. A kiértékelés (LOUVEAUX et al., 1978) gyakorisági rendszere alapján történt: a polleneket ritka (<3% – „egyéb”), izolált (3–15%), kísérő- (16–45%) vagy vezérpollen (>45%) kategóriákba soroltuk, figyelembe véve a nektárgyűjtésből adódó járulékos (1–2 szemcsés) szennyeződések is.

A 2. és 3. ábrákon domináns családok (Asteraceae, Fabaceae, Boraginaceae) belső taxonómiai sokfélesége miatt – az ökológiai és mezőgazdasági hatások elkülönítése érdekében – az alábbi funkcionális alcsoportokat képeztük:

- **Asteraceae 1:** Entomophil (rovarmegporzású), nektárt is adó mezei vadvirágok és dísznövények (pl.: *Taraxacum officinale*, *Erigeron annuus*, *Inula spp.*, *Cirsium spp.*, *Centaurea spp.*, *Carduus spp.*, *Rudbeckia spp.*, *Zinnia spp.*)
- **Asteraceae 2:** Anemophil (szélbeporzású), kizárólag pollent adó gyomnövények (pl.: *Ambrosia artemisiifolia*, *Artemisia vulgaris*).
- **Asteraceae 3:** Aranyvessző (*Solidago spp.*) fajok.
- **Asteraceae 4:** Nagyüzemi napraforgó (*Helianthus annuus*), mint önálló mézadó kultúra.
- **Fabaceae 1:** Lágyszárú pillangósok (pl.: *Trifolium spp.*, *Melilotus officinalis*, *Medicago sativa*, *Coronilla varia*, *Vicia spp.*, *Galega officinalis*, *Lotus corniculatus*).
- **Fabaceae 2:** Fás szárú hüvelyesek (pl. *Robinia pseudoacacia*, *Wisteria sinensis*, *Gleditsia triacanthos*).
- **Boraginaceae 1:** Termesztett kultúrák, elsősorban mézöntőfű (*Phacelia tanacetifolia*).
- **Boraginaceae 2:** Vadon élő érdeslevelűek (pl. *Echium spp.*, *Symphytum spp.*, *Anchusa spp.*, *Pulmonaria spp.*, *Myosotis spp.*, *Lithospermum spp.*).

Eredmények



2. ábra: A harkai és a bajnai agrárerdészeti terület kísérleti méhészetéből 2022-ben és 2023-ban gyűjtött pollencsomók mikroszkópos pollenanalízisének eredményei az egyes növénycsaládok szerinti megoszlásban (A diagramon az oszlopok az egyes pollenminták növénycsalád összetételét ábrázolják százalékos eloszlásban, az oszlopok tetején található számok azt jelzik, hogy az „egyéb <3%” kategórián kívül hány különböző növénycsalád volt jelen az adott mintában. A H, és B jelölések pedig az agrárerdészeti területek (Harka és Bajna) rövidítése. A 2022 és a 2023 pedig a gyűjtés évét jelöli.)

A **harkai** modellezett agrárerdészeti terület pollenösszetétele alacsonyabb diverzitást mutatott a bajnaihoz képest. A nyári hónapok (június–augusztus) összehasonlítása alapján a 2023-as év bizonyult fajgazdagabbnak. Júniusban jelentős taxonómiai átrendeződés történt: míg 2022-ben a *Brassicaceae* (káposztafélék) domináltak (58%), addig 2023-ban a *Boraginaceae* (pl. facélia, 36%) vette át a vezető szerepet. A július mindkét évben stabilnak bizonyult: a minták abszolút többségét (74%, ill. 53%) a szelídgesztenye (*Castanea sativa*, Fagaceae) adta, ami a terület specifikus agrárerdészeti jellegét igazolja. Augusztusban a szárazabb 2022-es évben a *Brassicaceae* és egyes *Asteraceae* fajok, míg a csapadékosabb 2023-ban a szolidágó (aranyvessző, *Asteraceae*³) tömeges megjelenése (33%) volt a meghatározó.

A **bajnai** mintaterületen a két év közötti különbségek még markánsabban jelentkeztek. Míg 2022 a tavaszi időszakban (április–június), addig 2023 a nyári és kora őszi hónapokban volt fajgazdagabb. Áprilisban mindkét évben a fűzfélék (*Salicaceae*) domináltak, de 2023-ban kiugróbb, 48%-os arányban. A májusi és júniusi időszakban a 2022-es év változatosabb képet mutatott (bálványfa, hárs, pillangósok), míg 2023-ban a minták összetétele homogénebb volt (*Oleaceae*, *Fabaceae*). Júliusban és augusztusban fordult a trend: a csapadékosabb 2023-as évben a méhek szélesebb spektrumról gyűjtöttek (pl. *Fabaceae*, *Lamiaceae*), míg 2022-ben a napraforgó és egyéb fészkesvirágzatúak (*Asteraceae*) uralták a hordást. A 2023-as kedvező őszi időjárásnak köszönhetően a szezon októberig kitolódott, olyan taxonok megjelenésével, mint az *Araliaceae* és *Scrophulariaceae*.

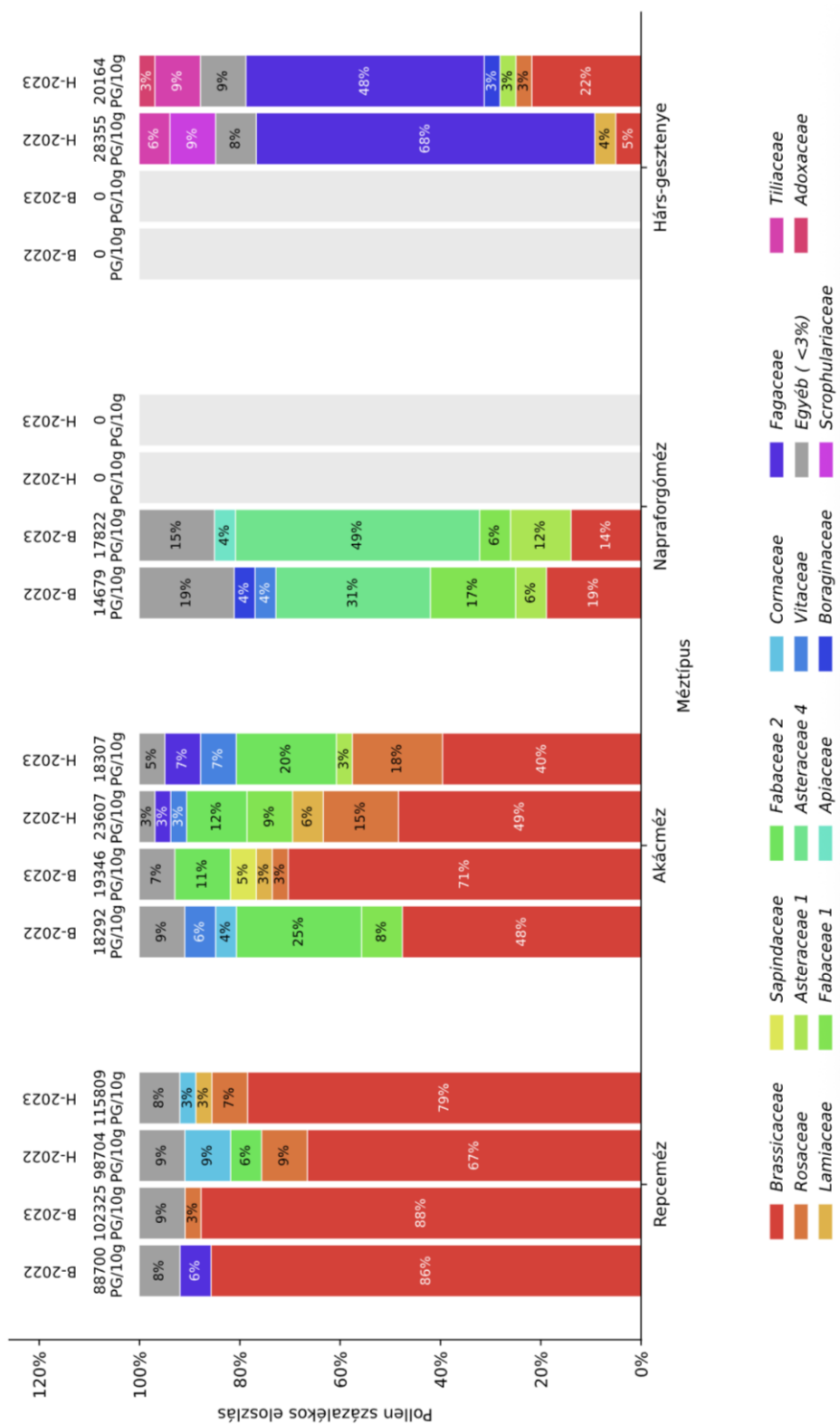
A mézminták melisszopalinológiai értékelése

A vizsgálat során a bajnai területről repce-, akác- és napraforgó-, míg a harkai mintaterületről repce-, akác- és hárs-gesztenye típusú mézeket elemeztünk. A botanikai összetétel és a kvantitatív mutatók alapján jelentős eltérések mutatkoztak a két évjárat és a földrajzi helyszínek között.

A **repcemézek** esetében a bajnai minták alacsonyabb diverzitást (domináns, 86–88%-os *Brassicaceae* arány), ám meglepő módon alacsonyabb abszolút pollenzámot mutattak a harkaiakhoz képest. A harkai minták fajgazdagabbnak bizonyultak (*Rosaceae*, *Cornaceae* és *Lamiaceae* kísérőfajokkal). Közös jellemzőként a Maurizio-féle osztályozás szerinti túlsúlyos (felülreprezentált) pollenkép és a 2023-as évben mért magasabb pollenzá emelhető ki, ami az évjáráthatás jelentőségére utal.

Az **akácmézek** vizsgálata rávilágított a fajtamézzé minősítés nehézségeire. A bajnai mintáknál 2022-ben a 25%-os *Robinia* arány megfelelő volt, míg 2023-ban a *Brassicaceae* extrém felülreprezentáltsága (71%) miatt az akác pollenaránya (11%) a határérték alá szorult. Harkán fordított tendencia érvényesült (2023-ban magasabb, 20%-os akácarány). A minták többsége az I. osztályba (<20.000 PG/10g) esett, ami igazolja az akác alulreprezentált jellegét: a nektárhozam jelentős lehet alacsony pollentartalom mellett is.

A **nyári pergetésű mézeknél** Bajnán a napraforgóméz csak 2023-ban érte el a monoflorális minősítést (49% *Asteraceae*), 2022-ben (31%) inkább vegyes virágméz jellegű volt. A harkai **hárs-gesztenye mézek** esetében a *Castanea sativa* (szelídgesztenye) dominanciája volt megfigyelhető a pollenképben, míg a *Tilia* (hárs) – alulreprezentált pollentermelőként – inkább a nektárösszetételt és az érzékszervi jellegét határozta meg. A 2023-as év itt is nagyobb taxonómiai gazdagságot eredményezett.



3. ábra: A harkai és a bajnai agrárerdészeti terület kísérleti méhészetéből 2022-ben és 2023-ban gyűjtött mézminták mikroszkópos pollenanalízisének eredményei az egyes növénycsaládok szerinti megoszlásban (A diagramon az oszlopok az egyes mézminták növénycsalád összetételét ábrázolják százalékos eloszlásban, az oszlopok tetején található számok azt jelzik a kvantitatív mutatókat (abszolút pollenszám). A H, és B jelölések az agrárerdészeti területek (Harka és Bajna) rövidítése. A 2022 és a 2023 pedig a gyűjtés évét szemléltetik.)

Következtetések

Általános következtetések a vizsgálati eredmények tükrében

A pollencsomók vizsgálatából levonható ökológiai következtetések:

- **Klimatikus kitettség:** A vizsgált terület meteorológiai viszonyai determinisztikus hatással vannak a hordási viszonyokra. Az időjárási anomáliák – különösen a csapadékdeficit – szelektíven érintik a vegetációt: míg a lágyszárú flóra pollenprodukcója ilyenkor drasztikusan csökken, addig a fás szárú (arboreális) vegetáció rezilienciája magasabb. Ez igazolja a fák stabilizáló szerepét a méhlegelők fenntartásában aszályos periódusok idején.
- **Szezonális dinamika:** A vegetációs ciklus elején és végén (tavasz, ősz) a taxonómiai spektrum szűkebb. A tavaszi fehérjeforrást *Rosaceae* és *Salicaceae* családok, valamint a tömegesen virágzó *Brassicaceae* (főként repce és mustárfélék) biztosítják. Az őszi időszakban a *Hedera helix* (borostyán) és *Solidago* spp. (aranyvessző) dominanciája figyelhető meg, amelyet a modern agrotechnológia (zöldítés, takarónövények) és a tarlóvirágok másodvirágzása egészíti ki.
- **Nyári diverzitás:** A nyári hónapok magasabb botanikai sokfélesége polilektikus (sok növényt látogató) gyűjtési stratégiát tesz lehetővé. A virágzás fenológiáját – azaz az intenzitást és az időzítést – azonban ebben az időszakban is szorosan szabályozza a hőösszeg és a csapadékeloszlás.

A mézminták melisszopalinológiai elemzésének főbb megállapításai:

- **Nektár vs. Pollen stratégia:** A mézek üledékvizsgálata rámutatott, hogy a szénhidrát- és a fehérjegyűjtés preferenciái nem feltétlenül fedik egymást. A biodiverz környezetből származó mézekben gyakran megjelennek ritka, járulékos pollenszemek is, ami arra utal, hogy a méhek nektárgyűjtés céljából olyan taxonokat is látogatnak, amelyek pollenforrásként marginálisak.
- **A Brassicaceae család állandó jelenléte:** Minden vizsgált mézmintában kimutatható volt a *Brassica napus* pollenje. Ez a "háttérzaj" nemcsak a fővetésű repcének tulajdonítható, hanem a vetésforgóba illesztett másodvetések és zöldtrágya-keverékek terjedésének is, amelyek elnyújtják, kvázi folytonossá teszik a keresztesvirágúak jelenlétét a tájban.
- **Funkcionális eltérés a repce hasznosításában:** A repce- és akácmézek, valamint a velük egy időben gyűjtött pollencsomók összevetése (1. és 2. ábra) rávilágított egy markáns különbségre: a mézekben mért repcepollen-arány szisztematikusan magasabb, mint a pollencsomóké. Ez a diszkrepancia áprilisban a legszembetűnőbb (négy-szeres eltérés), ami azt valószínűsíti, hogy ebben az időszakban a repce elsődlegesen energetikai (nektár) forrásként szolgál, míg fehérjeforrásként a méhek más növényeket részesítenek előnyben.

A harkai és bajnai mintaterületek melisszopalinológiai elemzése mindkét helyszínen gazdag florisztikai összetételt igazolt, a fajgazdagsági csúcsok azonban eltérő mintatípusoknál jelentkeztek. Míg Harkán a mézminták, addig Bajnán a pollencsomók mutattak magasabb taxonómiai diverzitást. Ez a diszkrepancia rámutat arra, hogy a kolóniák szénhidrát- (nektár) és fehérje- (pollen) gyűjtési stratégiája térben és preferenciában nem feltétlenül fedi egymást, így a két kaptártermék eltérő ökológiai információt hordoz.

Eredményeink igazolják, hogy a méh-alapú biomonitoring során a növényfaji sokféleség reális becsléséhez a méz- és pollenminták párhuzamos elemzése elengedhetetlen. A két forrástípus komplementer értékelése szignifikánsan növeli a módszertani megbízhatóságot, lehetővé téve a táji léptékű biodiverzitás és a környezeti változások érzékenyebb detektálását.

Irodalomjegyzék

- BERGEN K. M. – GOETZ S. J. – DUBAYAH R. O. – HENEBRY G. M. – HUNSAKER, C. T. – IMHOFF, M. L. – NELSON, R. F. – PARKER, G. G. – RADELOFF, V. C. (2009): Remote sensing of vegetation 3-D structure for biodiversity and habitat: Review and implications for lidar and radar spaceborne missions, *J. Geophys. Res.*, 114: G00E06. doi:10.1029/2008JG000883
- BOROVICS, A. – SOMOGYI, N. – HONFY, V. – KESERŐ, Zs. – GYURICZA, Cs. (2017): Agrárerdészet, a klímatudatos, természetközeli termelési mód. *Erdészeti Lapok*, 6: 178–182. https://erdeszeti-lapok.oszk.hu/01825/pdf/EPA01192_erdeszeti_lapok_2017-06_178-182.pdf
- BULLOCK, C. – KRETSCH, C. – CANDON, E. (2007): *The Economic and Social Aspects of Biodiversity: Benefits and Costs of Biodiversity in Ireland*. Government publications. Dublin. ISBN: 978-1-4064-2105-7. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.12736.92169>
- CHEN, Y. – WANG, R. H. – SHEN, T. J. (2023): Biodiversity survey and estimation for line-transect sampling. *Frontiers in Plant Science*, 14:1159090. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1159090>
- DEINER, K. – BIK, H. M. – MÄCHLER, E. – SEYMOUR, M. – LACOURSIÈRE-ROUSSEL, A. – ALTERMATT, F. – CREER, S. – BISTA, I. – LODGE, D. M. – DE VERE, N. – PFRENDER, M. E. – BERNATCHEZ, L. (2017): Environmental DNA metabarcoding: Transforming how we survey animal and plant communities. *Molecular ecology*, 26(21): 5872–5895. <https://doi.org/10.1111/mec.14350>
- DHALIWAL, J. – KUKAL, S. S. – SHARMA, S. (2018): Soil organic carbon stock in relation to aggregate size and stability under tree-based cropping systems in Typic Ustochrepts. *Agroforest Syst*, 92: 275–284 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0103-8>
- DOMINKÓ, E. – KOVÁCS, Z. – RÉTFALVI, T. (2023): The Role of Pollen Analysis in the Sustainable Development. *Chemical Engineering Transactions*, 107: 673–678. DOI:10.3303/CET23107113
- DOMINKÓ, E. – SCHMIDT, D. – CSISZÁR, Á. – ZAGYVAI, G. – RÉTFALVI, T. (2025). Méh-biomonitoring: pollenanalízisre alapozott biodiverzitás értékelő módszer fejlesztése. *Tájökológiai Lapok*, 23(2), 3–19. <https://doi.org/10.56617/tl.7186>
- DUPONT, Y. L. – BALSBY, T. J. S. – GREVE, M. B. – MARCUSSEN, L. K. – KRYGER, P. (2025): Spatio-temporal variation in pollen collected by honey bees (*Apis mellifera*) in rural-urban mosaic landscapes in Northern Europe. *PloS one*, 20(2): e0309190. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0309190>
- FORBES, H. – SHELAMORF, V. – VISCH, W. – LAY, C. (2022): Farms and forests: evaluating the biodiversity benefits of kelp aquaculture. *J Appl Phycol*, 34: 3059–3067. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02822-y>
- GUO, X. – COOPS, N. C. – TOMPALSKI, P. – NIELSEN, S. E. – BATER, C. W. – STADT, J. J. (2017): Regional mapping of vegetation structure for biodiversity monitoring using airborne lidar data. *Ecological Informatics*, 38: 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.01.005>
- JOSE, S. (2009): Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, 76: 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- LAL, R. – STEWART, B. A. (2012): *World soil resources and food security*. CRC Press. Taylor & Francis Group. International Standard Book Number-13: 978-1-4398-4451-9
- LOUVEAUX, J. – MAURIZIO, A. – VORWOHL, G. (1978): Methods of Melissopalynology. *Bee World*, 59(4), 139–157. <https://doi.org/10.1080/0005772x.1978.11097714>
- MCGEOGH, M. A. (1998): The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews/Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 73(2): 181–201. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1997.tb00029.x>
- MOSQUERA-LOSADA, M. R. – SANTIAGO-FREIJANES, J. J. – ROIS, M. – MORENO, G. – PISANELLY, A. – LAMERSDORF, N. – DEN HERDER, M. – BURGUESS, P. – FERNÁNDEZ-LORENZO, J. L. – GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, P. – RIGUEIRO-RODRIGUEZ, A. (2016): CAP and agroforestry practices in Europe. Book of abstracts. 3rd European Agroforestry Conference: Celebrating 20 years of Agroforestry research in Europe, Montpellier. 2016. 429-430. https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10400.5/17577/1/EURAFIIIConf_Mosquera_Losada_MR_et_all_page_429_431.pdf
- NAIR, P. K. R. (2011): Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality*, 40(3): 784–790. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0076>
- PARDON, P. – REUBENS, B. – REHEUL, D. – MERTENS, J. – DE FRENNE, P. – COUSSEMENT, T. – JANSSENS, P. – VERHEYEN, K. (2017): Trees increase soil organic carbon and nutrient

- availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 247: 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.018>
- SAHU, A. – KUMAR, N. – SINGH, C.P. – SINGH, M. (2023): Environmental DNA (eDNA): Powerful technique for biodiversity conservation. *Journal for Nature Conservation*, 71: 126325. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126325>
- VAN NOORDWIJK, M. (2019): Sustainable development through trees on farms: agroforestry in its fifth decade. World Agroforestry Centre (ICRAF).
- VARAH, A. – JONES, H. – SMITH, J. – POTTS, S. G. (2020): Temperate agroforestry systems provide greater pollination service than monoculture. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 301: 107031. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107031>
- VITYI, A. – MAROSVÖLGYI, B. – KISS, A. – SCHETTRER, P. (2015): Research and Development Protocol for Arable Agroforestry in Hungary Group. Milestone MS16 Part of Experimental Protocol for Arable Farmers for the EU FP7 Research Project AGFORWARD.

Internetes források

[URL1] [beeodiversity.com](https://www.beeodiversity.com) (*Hozzáférés dátuma: 2025.12.12.*)

METHODOLOGICAL PATTERNS IN LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT: A SYSTEMATIC REVIEW

MAHDI ECHAJARI¹, ISMAIL NIME¹, AND ANDRÁS POLGÁR¹

¹Institute of Environmental Protection and Nature Conservation, University of Sopron, Hungary.
Madhi.echajari@phd.uni-sopron.hu

Abstract

Life Cycle Assessment (LCA) is widely used to evaluate the environmental performance of municipal wastewater treatment systems, yet methodological inconsistencies limit cross-study comparability. This review synthesizes findings from 35 recent LCA studies and identifies systematic patterns in the selection of system boundaries, functional units, and impact assessment methods. System boundaries varied substantially, with 13 studies using cradle-to-grave scopes, eight adopting cradle-to-gate, and eleven using gate-to-gate approaches. Most studies included upstream electricity production, but only four accounted for infrastructure, and sludge management was excluded in seven cases. Functional units showed clearer convergence, with 24 studies applying volume-based units (typically per m³), while population-based and product-based units were used in specialized contexts such as nutrient recovery or biogas valorisation. Impact assessment methods displayed the strongest methodological alignment: ReCiPe was used in 15 studies, CML in six, and 23 studies referenced ISO 14040/44 standards. Despite this, the inclusion of co-product credits emerged as a critical factor influencing results, with energy recovery reducing GWP by 24–37%, and nutrient offset credits resulting in cases of net-negative emissions. Hotspot analysis consistently identified electricity consumption and aeration as dominant contributors, while direct N₂O/CH₄ emissions produced highly variable results depending on whether plant-specific measurements or default emission factors were used. The findings reveal that methodological choices, especially system boundary scope, co-product crediting, and emission factor selection, shape environmental outcomes more strongly than treatment technology differences alone. This review provides a structured foundation for harmonizing LCA practices in wastewater treatment and supports more robust environmental benchmarking in future studies.

Introduction

Wastewater treatment plants play a key role in keeping people healthy and preserving local waters. But they also have an impact on the environment because of the energy, chemicals, and sludge involved, plus the greenhouse gases emitted. As we set tougher sustainability goals, more people are using Life Cycle Assessment (LCA) to check how wastewater treatment affects the environment overall. This helps in planning better, greener systems. (DEEP et al., 2020; ARIAS et al., 2020).

Despite its widespread application, recent studies show substantial variation in how LCA is implemented in the wastewater sector. System boundaries differ from narrow gate-to-gate assessments to full cradle-to-grave analyses (DELRE et al., 2018; LIMPITAKPHONG et al., 2016). Functional units range from volume-based metrics (per m³ treated) to population equivalents or product-based units used in energy and nutrient recovery studies (VINEYARD et al., 2021; SAUD et al., 2023). Impact assessment methods also vary, with many studies using ReCiPe or CML, while others apply custom or hybrid approaches (BESSON et al., 2021; HE et al., 2023).

These methodological differences influence reported environmental impacts more strongly than the treatment technology itself. For example, the inclusion of co-product credits for

biogas or nutrient recovery can significantly reduce—or even reverse—greenhouse gas results, while the use of default instead of measured emission factors may alter carbon footprints by factors of four to seven (LIAO et al., 2020; WU et al., 2022). As a result, comparing results across studies is challenging, and broader conclusions about environmental performance often remain inconsistent (CHEN et al., 2023; YE et al., 2020).

My aim is to find common ways these studies are done and where they don't match up. I focused on three core aspects of LCA practice: system boundary definitions, functional unit selection, and impact assessment methods. By spotting the common methods and what they mean for environmental results, this study helps set the stage for applying LCA in a clearer, more consistent way in the wastewater field.

Methodology

I reviewed the literature indexed in Scopus and Web of Science, focusing on studies published between 2015 and 2025. The initial search yielded 248 records. After removing duplicates, 179 studies remained for screening. Abstracts and full texts were then examined in detail, resulting in the selection of 35 studies that met the inclusion criteria (Table 1). To be included in the review, a study was required to present a life cycle assessment of municipal wastewater treatment and to clearly report its system boundaries, functional units, impact assessment methods, and environmental results.

Table 1: Summary of the literature search and screening process.

Screening Stage	Number of Studies
Initial search (Scopus + WoS)	248
After duplicates removed	179
After abstract screening	85
Final included studies	35

Although a formal PRISMA protocol was not strictly applied, the literature search and screening process followed established systematic review principles, including transparent inclusion criteria, duplicate removal, and structured data extraction.

I evaluated the full texts using a standardized screening checklist to ensure relevance to municipal wastewater treatment systems, the availability of operational inventory data, and clear identification of treatment technologies. Studies based solely on conceptual frameworks or focused on industrial wastewater systems were excluded.

For each selected study, I extracted key methodological variables, including system boundary scope, functional unit, life cycle impact assessment method, treatment configuration, inventory components, emission modelling approach, and the use of co-product credits. Where available, additional information on data sources, sludge management practices, and uncertainty analysis was also recorded.

To identify recurring methodological patterns, I applied a descriptive comparative approach. The frequencies of system boundary types, functional units, and LCIA methods were quantified, and cross-study trends were examined to explore relationships between methodological choices and reported environmental outcomes. Hotspot identification focused on the dominant contributors to global warming potential and other midpoint impact categories.

Results

Characteristics of the Included Studies

Most of the 35 included studies were conducted in Europe and Asia, reflecting regions with established LCA research in wastewater treatment (DELRE et al., 2018; YE et al., 2020; CHEN et al., 2023). Conventional activated sludge and its variations (A2O, oxidation ditch, extended aeration) represented the dominant treatment technologies, followed by MBR, SBR, and UASB systems commonly assessed in resource-recovery studies (VINEYARD et al., 2021; SAUD et al., 2023; WU et al., 2022). Most assessments relied on operational plant data, although several studies incorporated simulation or model-derived inventories when evaluating emerging configurations (LIAO et al., 2020; HE et al., 2023). Assessment periods typically represented annual performance, consistent with previous LCA reviews on municipal wastewater systems (BESSON et al., 2021; ARIAS et al., 2020; DEEP et al., 2020).

LCA Modeling Framework

This study examined methodological patterns across the selected wastewater treatment LCA studies by analyzing system boundary scopes, functional unit selection, and the choice of LCIA methods.

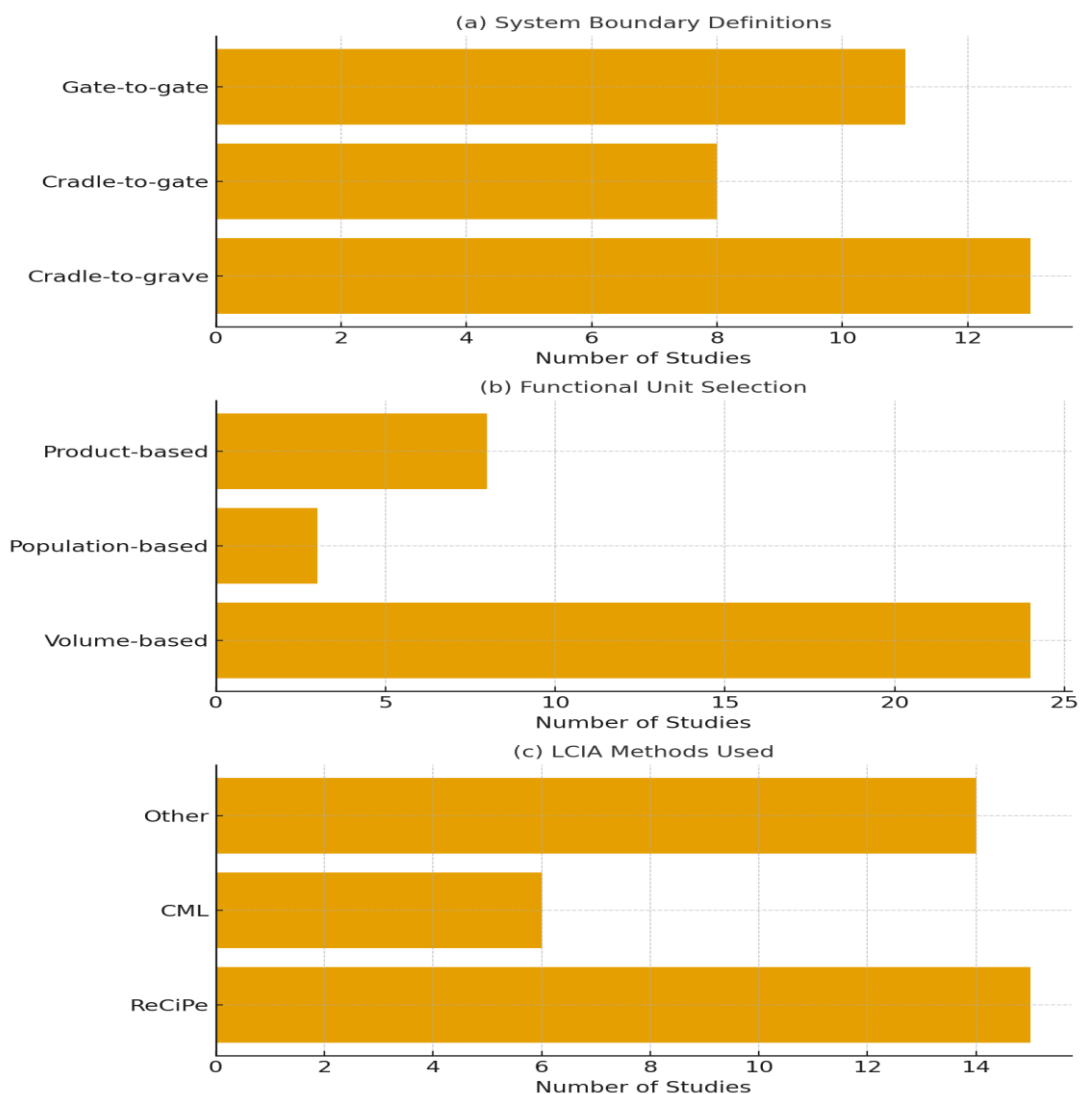


Figure 1: Distribution of key methodological choices in municipal wastewater treatment LCA studies (n = 35).

System boundaries varied considerably among the reviewed publications. Three main scopes were identified: cradle-to-grave, cradle-to-gate, and gate-to-gate. Cradle-to-grave

boundaries were the most frequently applied, typically including upstream chemical production, plant operation, and downstream sludge handling. In contrast, gate-to-gate assessments focused solely on in-plant processes, emphasizing operational energy and direct emissions. This diversity in boundary definitions strongly affects which processes emerge as environmental hotspots.

Functional units (FUs) also showed variation, although volume-based units were dominant. Most studies adopted 1 m³ of treated wastewater as the FU, supporting comparability across conventional treatment systems. Population-based units (population equivalent) appeared in studies evaluating treatment performance at community scale, while product-based units were mainly used in resource-recovery configurations where the focus was on biogas, nutrient recovery, or other outputs. The coexistence of different FUs introduces challenges when interpreting environmental results across studies.

Life Cycle Impact Assessment (LCIA) methods included a mix of midpoint and endpoint frameworks. ReCiPe was the most widely used method, followed by CML, while several studies applied alternative or region-specific methods. Differences in LCIA method selection influence impact category weighting and can shift the relative importance of hotspots such as toxicity, eutrophication, and resource depletion.

Together, these methodological choices—boundary scope, functional unit, and LCIA methods shape the comparability and interpretation of environmental outcomes across wastewater treatment LCA studies.

Environmental Hotspots

Across the 35 included studies, electricity consumption—particularly aeration—was consistently identified as the dominant contributor to environmental impacts, especially in GWP and energy-related categories (DELRE et al., 2018; BESSON et al., 2021; WU et al., 2022). This trend was most pronounced in regions with fossil-intensive grid mixes, where aeration alone accounted for a substantial fraction of total emissions (ARIAS et al., 2020; YE et al., 2020). Chemical production and dosing represented the second major hotspot, driven by upstream manufacturing of coagulants, pH-adjustment reagents, and external carbon sources used in nutrient removal (DEEP et al., 2020; VINEYARD et al., 2021; SAUD et al., 2023). When sludge management was included within system boundaries, downstream processes such as anaerobic digestion, dewatering, drying, or incineration added significant impacts—although studies recovering biogas often reported notable reductions in net GWP (LIAO et al., 2020; CHEN et al., 2023).

Direct process emissions of nitrous oxide (N₂O) and methane (CH₄) emerged as an additional hotspot, with their influence varying widely depending on the use of measured versus default emission factors. Studies applying default IPCC factors reported large uncertainties and sometimes multiple-fold differences in climate impacts compared to those using plant-specific monitoring (HE et al., 2023; LIMPHITAKPHONG et al., 2016). Overall, the hotspot patterns confirm that operational energy demand, upstream chemical supply chains, sludge treatment pathways, and direct gaseous emissions are the most influential contributors across municipal wastewater treatment LCAs (DELRE et al., 2018; WU et al., 2022; SAUD et al., 2023).

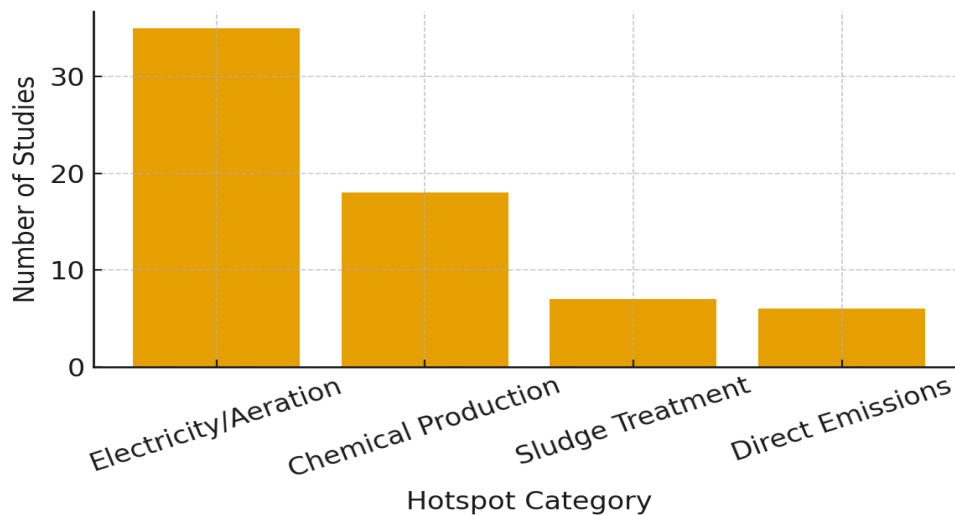


Figure 2: Frequency of reported environmental hotspots.

Influence of Methodological Choices on Environmental Results

Methodological assumptions exerted a substantial influence on environmental outcomes across the reviewed studies, often exceeding the variation attributable to differences in treatment technologies. The application of co-product credits for biogas or nutrient recovery consistently reduced GWP by 24–37%, and several studies even reported net-negative emissions when substitution of fossil-based energy or synthetic fertilizers was included (LIAO et al., 2020; VINEYARD et al., 2021; SAUD et al., 2023). In contrast, assessments excluding these credits showed considerably higher climate burdens (DELRE et al., 2018; CHEN et al., 2023). Emission modelling introduced another major source of variability: the use of default N₂O and CH₄ emission factors generated results differing by factors of four to seven compared with plant-specific measurements (LIMPHITAKPHONG et al., 2016; WU et al., 2022; HE et al., 2023). System boundary choices also shifted environmental hotspots—gate-to-gate studies emphasized operational electricity, while cradle-to-grave studies highlighted upstream chemical production and downstream sludge processing (DEEP et al., 2020; BESSON et al., 2021). Functional unit and LCIA method selection further affected comparability, with volume-based FUs improving consistency across conventional WWTPs, whereas product-based FUs aligned results with resource-recovery objectives but limited cross-study interpretation (YE et al., 2020; ARIAS et al., 2020). Collectively, these findings show that boundary definitions, emission modelling, crediting approaches, and FU/LCIA choices strongly shape the magnitude and direction of reported environmental impacts. A summary of these methodological influences is presented in Table 2.

Table 2: Influence of key methodological choices on environmental impact results reported in wastewater treatment LCAs.

Methodological Choice	Effect on Results
Co-product credits (biogas, nutrient recovery)	Reduce GWP by 24–37%; may lead to net-negative emissions
Emission factor choice (measured vs default)	Results differ by factors of 4–7
System boundary scope	Shifts hotspots (electricity vs chemicals vs sludge)
Functional unit selection	Affects comparability across studies

LCIA method (midpoint vs endpoint)	Changes weighting of impact categories
Sludge management inclusion/exclusion	Strongly affects energy and GHG results

Discussion

Synthesis of Key Findings

The review shows that methodological decisions strongly shape environmental outcomes in wastewater treatment LCAs, often more than differences between treatment technologies themselves. Electricity consumption—especially aeration—was consistently the primary hotspot, followed by upstream chemical production, sludge management, and direct N₂O/CH₄ emissions, in line with previous LCA findings (DELRE et al., 2018; YE et al., 2020; WU et al., 2022). Studies applying co-product credits for biogas or nutrient recovery showed substantial reductions in GWP, sometimes resulting in net-negative emissions (VINEYARD et al., 2021; SAUD et al., 2023). Conversely, assessments relying on default emission factors or excluding sludge management tended to report higher impacts and larger uncertainties (HE et al., 2023; LIMPHITAKPHONG et al., 2016). These patterns highlight the critical importance of transparent boundary definitions, inventory assumptions, and emission modeling choices when interpreting WWTP environmental performance.

Comparison With Previous Reviews

The methodological inconsistencies identified in this review corroborate earlier studies that emphasized the lack of harmonization in boundary definitions, functional units, and LCIA method selection across wastewater LCAs (YE et al., 2020; CHEN et al., 2023). Like prior reviews, we found that cradle-to-grave studies uniquely highlighted the role of sludge management, while gate-to-gate assessments emphasized operational energy use (DEEP et al., 2020; ARIAS et al., 2020). Furthermore, the dominance of ReCiPe and CML aligns with past observations of regional variations in LCIA preferences (BESSON et al., 2021; HE et al., 2023). However, this review provides more granular insights by quantifying the extent to which co-product crediting, emission factor selection, and boundary scope shift impact results expanding on previous literature that often highlighted these factors qualitatively but without systematic quantification.

Methodological Limitations of Current Studies

Despite advances in LCA practice, several methodological gaps persist across the reviewed studies. The limited use of measured N₂O and CH₄ emissions continues to create uncertainty in climate impact estimates, especially for activated sludge systems known for variable emission profiles (WU et al., 2022; LIAO et al., 2020). Sludge management and infrastructure were frequently excluded, even in studies claiming cradle-to-grave coverage, reducing comparability and omitting important environmental burdens (DELRE et al., 2018; CHEN et al., 2023). Few studies provided robust uncertainty or sensitivity analyses, limiting the reliability of comparisons across technologies or scenarios (SAUD et al., 2023; BESSON et al., 2021). These limitations emphasize the need for standardized LCA frameworks with clearer guidance on boundary scope, emission modelling, and data reporting for WWTP evaluations.

Implications for Future LCA Practice

The findings highlight a clear need to harmonize methodological choices across wastewater treatment LCAs to improve comparability and reduce uncertainty. Consistent reporting of system boundaries, particularly the inclusion of sludge management and upstream chemical production would substantially improve alignment across studies (DELRE et al., 2018; DEEP

et al., 2020). More systematic measurement or region-specific modelling of N₂O and CH₄ emissions is critical, as reliance on default factors produced variability of several magnitudes in GWP outcomes (LIMPHITAKPHONG et al., 2016; WU et al., 2022; HE et al., 2023). Functional unit selection should be justified more transparently, with volume-based FUs preferred for treatment comparisons and product-based FUs reserved for resource-recovery contexts (VINEYARD et al., 2021; SAUD et al., 2023). Similarly, LCIA method selection would benefit from clearer rationale and, where feasible, the reporting of multiple methods to reduce method-specific bias (BESSON et al., 2021; CHEN et al., 2023). Finally, the limited use of uncertainty and sensitivity analyses across the reviewed studies underscores the need for more robust evaluation of modelling assumptions to ensure reliable interpretation of LCA results for wastewater systems.

Conclusion

This review analysed 35 Life Cycle Assessment studies on municipal wastewater treatment to identify common methodological patterns and sources of variability in reported environmental impacts. The results show that methodological choices, particularly system boundary definitions, functional unit selection, LCIA methods, co-product crediting, and emission factor assumptions play a central role in shaping environmental outcomes. Electricity use for aeration emerged as the most consistent hotspot, followed by chemical production, sludge management, and direct emissions, although their relative importance varied depending on boundary scope and modelling decisions.

The review highlights significant inconsistencies across studies, including frequent omission of sludge management, limited reporting of infrastructure, and widespread reliance on default emission factors for N₂O and CH₄. These differences reduce comparability across studies and complicate the interpretation of environmental performance. At the same time, the results also demonstrate the potential for substantial impact reductions through energy and nutrient recovery, especially when co-product credits are applied transparently and consistently.

To advance the robustness and usability of wastewater treatment LCAs, greater methodological harmonization is needed. Clearer guidance on system boundary scope, justification for functional units, improved emission data, and more widespread use of uncertainty analysis would enhance the comparability and credibility of future studies. By identifying these gaps and patterns, this review provides a foundation for more consistent and transparent LCA practice and supports more informed decision-making in the design and evaluation of sustainable wastewater treatment systems.

References

- ARIAS A. – BEHERA C. R. – FEIJOO G. – SIN G. – MOREIRA M. T. (2020):
Unravelling the environmental and economic impacts of innovative technologies for the enhancement of biogas production and sludge management in wastewater systems. *Journal of Environmental Management* 260 : 109905.
- BESSON M. – AUSSANT J. – RABIER F. – RENAUD E. – BARRE J. (2021):
Environmental assessment of wastewater treatment technologies using life cycle assessment. *Water Research* 190: 116723.
- CHEN Y. – ZHANG L. – LIU J. – ZHOU Y. (2023):
Life cycle assessment of municipal wastewater treatment under different system boundary definitions. *Science of the Total Environment* 858: 159820.
- DELRE A. – TEN HOEVE M. – SCHEUTZ C. (2018):
Site-specific carbon footprints of Scandinavian wastewater treatment plants using the life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production* 184: 540–552.
- DEEP A. – UPADHYAY A. – SHRIVASTAVA S. – VIVEKANAND V. (2020):

- Life-cycle assessment of sewage sludge-based large-scale biogas plant. *Bioresource Technology* 303: 122940.
- HE Y. – LI J. – WANG X. – ZHANG Q. (2023):
Uncertainty in N₂O and CH₄ emissions from wastewater treatment plants: Implications for life cycle assessment. *Water Research* 229: 119382.
- LIAO X. – WANG J. – ZHOU Z. – CHEN Y. (2020):
Greenhouse gas emissions and mitigation potential in municipal wastewater treatment plants: A life cycle perspective. *Science of the Total Environment* 710: 136321.
- LIMPHITAKPHONG N. – CUI J. – JENKINS B. (2016):
Comparative life cycle assessment of wastewater treatment systems under different emission scenarios. *Journal of Environmental Management* 184: 489–499.
- SAUD A. – HAVUKAINEN J. – PELTOLA P. – HORTTANAINEN M. (2023):
Environmental performance of nitrogen recovery from rejecting water of sewage sludge treatment based on life cycle assessment. *Recycling* 8(1): 12.
- VINEYARD D. – DUNN R. – HAWKINS T. (2021):
Evaluating biogas recovery pathways in wastewater treatment using life cycle assessment. *Renewable Energy* 170: 127–138.
- WU Z. – ZHANG X. – LIU H. – WANG S. (2022):
Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from municipal wastewater treatment plants. *Water Research* 215: 118242.
- YE Y. – ZHENG X. – ZHANG R. – LI J. (2020):
Environmental impacts of municipal wastewater treatment: A systematic life cycle assessment review. *Science of the Total Environment* 726: 138436.

SOPRONI EGYETEM „SOUND OF EARTH” TANÖSVÉNYE, MINT ÉLMÉNY-ALAPÚ ESZKÖZ A FENNTARTHATÓSÁGI ATTITÚD FORMÁLÁSÁBAN

The “Sound of Earth” Educational Trail of the University of Sopron as an Experience-Based Tool for Shaping Sustainability Attitudes

ELEKNÉ FODOR VERONIKA¹, NÁHLIK ANDRÁS¹, NÉMETH DÓRA¹, TÓTH MÁRTON¹,
ÓRSI ÁRPÁD¹, LAKATOS FERENC², FÁBIÁN ATTILA², POLGÁR ANDRÁS¹

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet

² Soproni Egyetem

elekne.fodor.veronika@uni-sopron.hu

Kivonat

A kutatás célja annak vizsgálata, hogy az egyetemi tanösvények – különösen a Soproni Egyetem Botanikus Kertjében található „Sound of Earth” fenntarthatósági tanösvény – miként járulhatnak hozzá a hallgatók és látogatók környezettudatosságának fejlesztéséhez élményalapú oktatási eszközként. A „Sound of Earth” program az egyetem zöld infrastruktúráját, fenntartható működését és környezeti nevelési tevékenységét integráló szemléletet képvisel. Az interaktív tanösvény QR-kódokon keresztül mutatja be a fenntarthatóság főbb területeit, mint a biodiverzitás, vízgazdálkodás, energiahatékonyság, hulladékgazdálkodás, közlekedés, oktatás és kutatás. Az élményalapú tanulás, illetve az „egyetem, mint élő labor” megközelítés elősegíti a fenntarthatósági attitűdök formálását, mivel a résztvevők közvetlen tapasztalatokon keresztül találkoznak a környezettudatos döntések hatásaival. A tanösvény nem csupán infrastrukturális elem, hanem hatékony szemléletformáló eszköz, amely támogatja a fenntartható egyetemi kultúra kialakítását és a jövő generációinak környezettudatos gondolkodását.

Abstract

The aim of the research is to examine how university educational trails—particularly the “Sound of Earth” sustainability trail located in the Botanical Garden of the University of Sopron—can contribute to the development of environmental awareness among students and visitors as experience-based educational tools. The “Sound of Earth” programme represents an integrated approach that connects the University’s green infrastructure, sustainable operations and environmental education activities. The interactive trail presents the key dimensions of sustainability through QR codes, including biodiversity, water management, energy efficiency, waste management, transportation, and education and research. Experience-based learning and the “university as a living laboratory” approach support the shaping of sustainability attitudes by enabling participants to encounter the impacts of environmentally conscious decisions through direct experience. The trail is therefore not merely an infrastructural element but an effective awareness-raising tool that supports the development of a sustainable university culture and fosters environmentally conscious thinking in future generations.

Bevezetés

Az egyetemi tanösvények kijelölt útvonalak, amelyek a felsőoktatási intézmények területén vagy azok közvetlen környezetében találhatók, és céljuk a természeti, kulturális vagy történelmi értékek bemutatása, valamint a helyszíni oktatás támogatása (HAIGH-GRIFFITHS, 2009). Ezek a létesítmények a felsőoktatásban több funkciót töltenek be: elősegítik a gyakorlati tanulást, növelik a környezeti tudatosságot, kutatási lehetőségeket biztosítanak, és erősítik az egyetem és a társadalom kapcsolatát (AL-MULALI et al. 2015). Az egyetemi

tanösvények szabadtéri tanteremként közvetlen kapcsolatot teremtenek az elméleti ismeretek és a valós környezet között.

A tanösvények megjelenése a 20. század elejére tehető, elsőként az Amerikai Egyesült Államokban (1925) és Németországban (1930) alakultak ki. Magyarországon az 1970-es évektől kezdődően terjedtek el a mai értelemben vett tanösvények, Svájcra hasonlóan (GESLER, 1994). Az első egyetemi tanösvények elsősorban a természettudományos képzések – például a botanika, zoológia és ökológia – gyakorlati kiegészítését szolgálták. Fejlődésük jól tükrözi a tapasztalati tanulás és a környezeti nevelés pedagógiai jelentőségének növekedését, valamint a felsőoktatás szemléletváltását a gyakorlatiasabb, környezetközpontú megközelítések irányába. A globális környezeti kihívások, a fenntarthatóság iránti növekvő társadalmi igény, valamint a mentális egészség fontosságának felismerése miatt az egyetemi tanösvények szerepe napjainkban tovább erősödik (SANDELL-SVANBERG, 2016). Kutatások igazolják, hogy a természetben való tartózkodás és séta javítja a mentális funkciókat és a kognitív teljesítményt (BERMAN et al. 2012). Az egyre urbanizáltabb környezetben az egyetemi tanösvények lehetőséget kínálnak a hallgatók, oktatók és látogatók számára a természettel való újrakapcsolódásra. Az egyetemek felelőssége, hogy könnyen hozzáférhető módon biztosítsák a természeti környezet megtapasztalását, hozzájárulva az egyéni fejlődéshez és a fenntarthatósági célok megvalósításához.

Oktatási szempontból az egyetemi tanösvények ideális helyszínei a tapasztalati tanulásnak, mivel elősegítik a kritikai gondolkodás és a komplex összefüggések megértését (KOLB, 2014). Számos egyetemen integrálják a tanösvényeket a különböző kurzusokba, például biológia, ökológia, környezettudomány, földrajz, régészet és akár művészeti képzésekbe is (BLEICHER, 1994). A Texas Tech University Outdoor Learning Center példája jól mutatja, hogy a tanösvények tantervhez illesztett, gyakorlatias oktatási élményt nyújthatnak (TTU TODAY). A szabadtéri tanulás különböző tanulási stílusokhoz alkalmazkodik, kézzelfoghatóvá teszi az absztrakt fogalmakat, és növeli a hallgatók elkötelezettségét.

A tanösvények jelentős szerepet töltenek be a környezeti nevelésben és a fenntarthatóság népszerűsítésében is (ORR, 1994). A látogatók számára érthető és élményszerű módon mutatják be az ökológiai alapelveket, ösztönözve a környezettudatos viselkedést. Jó példa erre a Pannon Egyetem Zöld Kampusz Tanösvénye, amely az energiatakarékosságot és a hulladékhasznosítást helyezi középpontba, illetve a Cornell University fenntartható tájképi tanösvénye, amely a kampusz fenntartható tervezési megoldásait ismerteti (CORNELL UNIVERSITY). A természettel való közvetlen kapcsolat érzelmi kötődést alakíthat ki, ami növeli a fenntartható gyakorlatok elfogadásának esélyét.

Az egyetemi tanösvények jelentős egészségügyi és jóléti előnyöket is biztosítanak. A természetben való tartózkodás bizonyítottan csökkenti a stresszt, a szorongást és a depressziót, javítja a hangulatot és a koncentrációt (ULRICH et al. 1991). A tanösvények lehetőséget nyújtanak a kikapcsolódásra és a feltöltődésre a természetben (HARTIG et al. 2014). A rendszeres mozgás hozzájárul a fizikai egészség megőrzéséhez és a krónikus betegségek kockázatának csökkentéséhez (WARBURTON et al. 2006). Az egyetemi tanösvények könnyen hozzáférhető, költséghatékony lehetőségeket biztosítanak a hallgatók, az oktatók és a dolgozók fizikai és mentális jólétének előmozdításához, természetes menedéket nyújtva a stresszoldáshoz, a testmozgáshoz és a feltöltődéshez, hozzájárulva egy kiegyensúlyozottabb és produktívabb egyetemi élményhez.

Végül, az egyetemi tanösvények fontos közösségépítő szerepet is betöltenek. Sok esetben a nagyközönség számára is nyitottak, elősegítve az egyetem és a helyi közösség közötti kapcsolatot, tudásmegosztást és a közös természeti értékek iránti elkötelezettséget (SANDELL-SVANBERG, 2015). Erre jó példa a Berkshire Community College John Lambert Nature

Trailje (BERKSHIRE COMMUNITY COLLEGE). Azáltal, hogy az egyetemek megosztják természeti erőforrásaikat, erősebb kapcsolatokat építhetnek ki a környező közösségeikkel, lehetőséget kínálva az intergenerációs tanulásra, előmozdítva a helyi turizmust és bemutatva elkötelezettségüket a közszolgálat és a környezetvédelem iránt.

A sikeres egyetemi tanösvény tervezése holisztikus és iteratív folyamatot igényel, amely integrálja az ökológiai tudományt, a pedagógiai elveket, a hozzáférhetőségi szabványokat és a felhasználói élmény szempontjait, hogy egyaránt oktató és élvezetes ösvényt hozzon létre (FABER et al. 2002). A tervezés során figyelembe kell venni a célcsoportot, a tanösvény hosszát, a terepviszonyokat, a bemutatandó természeti és kulturális értékeket, valamint a pedagógiai célokat (MOORE-WONG, 1997). Fontos a látogatók fizikai és kognitív képességeinek, érdeklődési területeinek és a rendelkezésre álló idejüknek a figyelembevétele a tervezés során (DOYLE-STRAUS, 2001). A fenntartható tervezés alapelveinek (pl. vízvezetés, erózióvédelem) figyelembevétele elengedhetetlen a környezeti hatások minimalizálása érdekében (THACKRAY-PHEASANT, 2003). Egy hatékony tanösvény megtervezése többet jelent egy ösvény kijelölésénél. Mélyreható ismeretet igényel a helyi ökoszisztémáról annak megőrzése érdekében, a tanulási célok világos megfogalmazását a tartalom és az elrendezés irányításához, az inkluzivitás iránti elkötelezettséget, hogy mindenki részt vehessen, és a felhasználói igények ismeretét az elkötelezettség és az elégedettség maximalizálása érdekében. Ez a sokrétű megközelítés biztosítja, hogy az ösvény elérje kitűzött céljait, és értékes erőforrást nyújtson az egyetem és a közösség számára.

Anyag és módszer

A fenntarthatósági attitűd fejlesztése elengedhetetlen ahhoz, hogy a jövő generációi felelős döntéseket hozzanak és aktívan hozzájáruljanak a fenntartható fejlődés megvalósításához. Ebben a folyamatban az egyetemi tanösvények hatékony, élményalapú eszközként jelennek meg. A Soproni Egyetem kampuszán található tanösvény célja a helyi természeti értékek és a fenntarthatósághoz kapcsolódó jó gyakorlatok bemutatása.

A tanösvény ismertetése előtt fontos megemlíteni a Soproni Egyetem „Sound of Earth” programját. A „Sound of Earth” egyben filozófia is: A Föld hangja a Soproni Egyetem erőfeszítésein keresztül értő fülekre talál. Az intézményben zajló munka, kutatások és intézkedések szerves egésszé állnak össze, a fenntarthatóság gyakorlati megvalósítása és fejlesztése érdekében. Cél a zöld infrastruktúra fejlesztése és a társadalmi szemléletformálás. Mérföldkövei pedig a nettó zéró klímasemlegesség, a klíma- és természetpozitivitás, valamint a környezettudatosság üzenetének közvetítése (SOPRONI EGYETEM, 2025).

A Soproni Egyetem rendszerszemléletű megközelítésre építve alakította ki Fenntartható Egyetem Modelljét, amely az Intézményi Fenntarthatósági Stratégiára és annak SMART céljaira épül. A megvalósítást tematikus intézkedések és munkacsomagok támogatják, biztosítva a fenntartható egyetemi működés folyamatos fejlesztését. A modell piramisstruktúrája egy olyan intézményi kultúra kialakítását célozza, amelyben a fenntarthatóság prioritásként jelenik meg, és mintaként szolgálhat a szélesebb társadalom számára is.

A stratégiára épülő, védjegyoltalom alatt álló „Sound of Earth University of Sopron” Megvalósítási Program összhangban áll az ENSZ Fenntartható Fejlődési Céljaival, és keretet biztosít a fenntarthatósági törekvések gyakorlati megvalósításához. A program központi eleme az „Egyetem mint Élő Labor” (Living Lab) megközelítés, amely lehetővé teszi, hogy a hallgatók, oktatók és kutatók valós környezetben fejlesszék és értékeljék fenntarthatósági megoldásaikat. A tematikus munkacsomagok – Partnerség, Bolygó, Emberek, Jólét és Béke – az elmélet és a gyakorlat összehangolt megvalósítását szolgálják (SOPRONI EGYETEM, 2025).



1. ábra: Sound of Earth védjegy © Copyright. Minden jog fenntartva.

Eredmények

A Botanikus Kertben található tanösvény egy fogadótáblával kezdődik, amely bemutatja a különböző fenntarthatósági témákat az ökocímkék segítségével. A tanösvényen a látogatók az egyes állomáspontokon kihelyezett QR kódokon keresztül érhetik el a főbb gyűjtőoldalakat, ahol digitális tartalom segíti az adott attrakció megismerését. A QR-kódok a Soproni Egyetem Zöld Egyetem aloldalára vezetnek, amely a tanösvény digitális központjának tekinthető, ahol a látogatók további részleteket tudhatnak meg az egyetem fenntarthatósági törekvéseiről. A tematikus navigációs rendszer kiindulópontja a következő URL-en található: <https://greenuniversity.uni-sopron.hu/labels-sustainability>.



2. ábra: Botanikus kert tanösvényének állomáspontjai (SOPRONI EGYETEM, 2025)

A tanösvény 30 állomásponttal rendelkezik (2. ábra), amelyek tematikusan kerültek besorolásra az alábbi 6 fő kategóriába:

1. Természetpozitív Egyetem: 1. Botanikus Kert, Tanösvény, 6. Nyitvatermők a Botanikus Kertben, 10. A Botanikus kert gombavilága, 13. Természetpozitív tevékenységek, 17. Madárbarát kampusz, 21. Sünbarát Kampusz, 27. Rovarvilág a Botanikus Kertben, 30. Treejoy projekt

2. Energiahatékonyság és megújuló energia: 8. Biomassza kazán, 12. Energiatakarékos eszközök a Botanikus Kertben, 24. Napelemek
3. Hulladékgazdálkodás és újrahasznosítás: 4. Szelektív hulladékgyűjtés, 7. Hulladéksökkentési (Reduce) programok, 9. E-hulladékok
4. Fenntartható vízgazdálkodás: 16. Parazitott parcellás hidro-meteorológiai vizsgálatok, 22. Erzsébet-forrás, 26. Esővízgyűjtés
5. Fenntartható közlekedés: 2. Forgalomcsökkentési megoldások, 3. Egyetemi kerékpárok, 14. Akadálymentesítés, 20. Kerékpáros szervizpontok
6. Oktatás és Kutatás: 5. Talajmonolit Gyűjtemény, 15. Ligneum, 18. Herbárium, 19. Vadgazdálkodási és Vadászati Gyűjtemény, 23. Hallgatói közösségek, 25. Meteorológiai állomás, 28. Fogoly zárttéri tartása, 29. GreenBee

A Soproni Egyetem „Sound of Earth” Programja keretében a tanösvény a fenntarthatóságot tematikus egységeken keresztül mutatja be. A legfőbb témakörök közé tartozik a Természetpozitív Egyetem, az energiatudatosság és -hatékonyság, a hulladékgazdálkodás és újrahasznosítás, a vízgazdálkodás és víztakarékosság, a fenntartható közlekedés, a kultúra és közösség és a fenntarthatóság az oktatási és a kutatási tevékenységekben. Az egyes tématerületek ökocímkei a 3. ábrán láthatók (SOPRONI EGYETEM, 2025).



3. ábra: A Soproni Egyetem ökocímkei © Copyright. Minden jog fenntartva.

Természetpozitív Egyetem

A Soproni Egyetem egyedülálló természeti környezetben működik: fő kampusza és oktatási épületeinek jelentős része a több mint 100 éves Egyetemi Botanikus Kertben helyezkedik el, amely egyszerre szolgál oktatási, kutatási, természetvédelmi és rekreációs célokat. Az intézményhez szorosan kapcsolódó Erdészeti Tudományos Intézet kísérleti állomásai és arborétumai tovább erősítik az egyetem természetközpontú működését és kutatási hátterét.

A Soproni Egyetem 2022-ben alapító tagként csatlakozott az ENSZ Környezetvédelmi Programja (UNEP) és az Oxfordi Egyetem által kezdeményezett Nature Positive Universities Alliance globális hálózatához. A szövetség célja, hogy a felsőoktatási intézmények aktív szerepet vállaljanak a természet helyreállításában, a biodiverzitás védelmében és a fenntartható működés előmozdításában, összhangban az ENSZ Fenntartható Fejlődési Céljaival és az Ökoszisztéma-helyreállítás Évtizedével. A tagság lehetőséget biztosít az egyetem számára, hogy mérhető módon nyomon kövesse és igazolja természetvédelmi és klímavédelmi törekvéseit. A Soproni Egyetem SMART célok mentén rögzítette fejlesztési programjait („Nature Positive Pledge”), kiemelt fókuszba helyezve a Botanikus Kert komplex fejlesztését, az intézményi karbonsemlegesség felé való elmozdulást, valamint az erdősítési

programokat (Hűségező). Az elért eredményekről az egyetem rendszeresen beszámol éves fenntarthatósági jelentéseiben (SOPRONI EGYETEM, 2025).

Energiahatékonyság és megújuló energia

A Soproni Egyetem az energiatudatos működés és a megújuló energiaforrások alkalmazása terén országos szinten is kiemelkedő eredményeket ért el. Fenntarthatósági törekvéseinek elismeréseként 2023-ban Magyarország első karbonpozitív egyetemévé vált, ami azt jelenti, hogy működésével aktívan hozzájárul az üvegházhatású gázok csökkentéséhez.

A legjelentősebb fejlesztések közé tartozik a biomassza-alapú fűtési rendszer kiépítése. Az egyetem három új hőközpontot hozott létre, amelyek korszerű faapríték-kazánokkal összesen 3 700 kW megújuló kapacitást biztosítanak. Ezek a rendszerek 22 épület több mint 56000 m² fűtött alapterületének energiaellátását fedezik, jelentősen csökkentve a fosszilis energiafelhasználást (SOPRONI EGYETEM, 2023).

A beruházások eredményeként az egyetem évente mintegy 1 675 tonna CO₂-egyenértékkel csökkenti kibocsátását, miközben az energiahatékonyságot épületfelújításokkal, zöld építészeti megoldásokkal és természetes klimatizálási technikákkal is javítja. A Scope 1–3 kibocsátások mérséklését szolgálja a fenntartható közlekedés ösztönzése és az elektromos járműflotta fokozatos bevezetése. Ezek az intézkedések jól példázzák a felsőoktatási intézmények szerepét a klímavédelemben (SOPRONI EGYETEM, 2025).

Hulladékgazdálkodás és újrahasznosítás

A Soproni Egyetem hulladékgazdálkodási gyakorlata a 3R elvre (Reduce, Reuse, Recycle) épül, amely a hulladékképződés megelőzését, az újrahasználatot és az újrahasznosítást helyezi előtérbe. Az intézmény célja a környezeti terhelés csökkentése és a fenntartható működés hosszú távú biztosítása. A hulladékcsökkentés érdekében az egyetemen elterjedt a kétoldalas nyomtatás, az elektronikus dokumentumkezelés és az adminisztratív folyamatok digitalizálása. A szerves hulladék helyben, a Botanikus Kertben történő komposztálása szintén jelentősen mérsékli a hulladék mennyiségét. Az újrahasználatot ingyenes ivóvízvételi pontok támogatják, ösztönözve a többször használható kulacsok alkalmazását.

Az újrahasznosítást kiterjedt szelektív hulladékgyűjtési rendszer segíti, amely magában foglalja a papír, műanyag, üveg, fém, zöld- és biohulladék, valamint a veszélyes hulladék elkülönített kezelését. Az egyetem célja, hogy az egyetemi közösség minden tagját bevonja a fenntartható hulladékgazdálkodásba, példát mutatva a környezettudatos működés terén.

Fenntartható vízgazdálkodás

A klímaváltozás hatásai – az aszályos időszakok és az extrém csapadékesemények – indokoltá teszik a vízgazdálkodás átgondolt, fenntartható megközelítését. A Soproni Egyetem célja a csapadékvíz helyben tartása és hasznosítása, a zöld- és kék-infrastruktúra elemeinek összehangolásával. A csapadékvizet helyben kezelő rendszerek kiépítésére a zöldterületek is alkalmasak, kisebb nagyobb esőkertek, víztározók, multifunkcionális esővízkezelő terek létesítésével. A Botanikus Kertben több helyszínen működnek csapadékvíz-gyűjtő rendszerek, felszín alatti és felszíni tartályokkal, amelyek évente mintegy 85–90 m³ ivóvíz-megtakarítást eredményeznek. Ezek a megoldások nemcsak gazdasági, hanem jelentős környezeti előnyökkel is járnak.

Az egyetemi épületekben és kollégiumokban folyamatosan növekszik a víztakarékos csaptelepek és infraöblítékes rendszerek aránya. Az öntözési igényeket elsősorban esővíz és talajvíz felhasználásával biztosítják, az ivóvíz használatát csak másodlagos megoldásként alkalmazva (SOPRONI EGYETEM, 2025).

Fenntartható közlekedés

A Soproni Egyetem földrajzi adottságai kedveznek a fenntartható közlekedési formáknak, mivel a kampuszok és kollégiumok gyalogosan és kerékpárral is könnyen elérhetők. Ennek megfelelően az intézmény kiemelten támogatja a környezetbarát mobilitást. A kerékpáros közlekedést jól kiépített tárolók, szervizpontok és intézményi kerékpárprogramok segítik. A „Sétálj velünk Selmecig!” és „Tekerj velünk Selmecig!” kezdeményezések az egészséges életmódot és a közösségi részvételt is ösztönzik. A gépjárműforgalom korlátozása a Botanikus Kert védelmét és a károsanyag-kibocsátás csökkentését szolgálja. A tömegközlekedés támogatása és a fenntartható mobilitás további fejlesztése az egyetem hosszú távú céljai között szerepel. A tematikus „Sound of Earth” tanösvény a fenntartható közlekedést is bemutatja, erősítve a hallgatók környezeti szemléletformálását és jóllétét.

Oktatás és kutatás

A Soproni Egyetem évszázados hagyományokra épülő, multidiszciplináris oktatási és kutatási központ, amely meghatározó szerepet tölt be a fenntarthatósággal kapcsolatos tudás előállításában és átadásában. Az egyetem stratégiai célja, hogy a fenntarthatóságot integrálja oktatási, kutatási és működési tevékenységeibe. A „Zöld Egyetem” koncepció mentén a klímaadaptáció, a természetvédelem, környezeti nevelés, pedagógia valamint a társadalmi és gazdasági fenntarthatóság komplex kérdései egyaránt megjelennek a képzésekben és kutatásokban.

A Soproni Egyetem célja nemcsak a tudás átadása, hanem a szemléletformálás is, amelyet a „Természetesen Veled!” jelszó foglal össze. Fenntarthatósági tevékenységével az intézmény hosszú távon a jövő generációinak környezettudatos gondolkodását és felelős cselekvését támogatja (SOPRONI EGYETEM, 2025).

Következtetések

Az egyetemi hallgatók fenntarthatósági attitűdjeinek fejlesztése kiemelten fontos a fenntartható fejlődés előmozdítása érdekében. A kutatások szerint a hallgatók érdeklődnek a téma iránt, de gyakran hiányosak az ismereteik, és a tudás nem mindig párosul gyakorlati cselekvéssel. Az egyetemi tanösvények olyan innovatív megoldást kínálnak, amelyek áthidalhatják ezt a szakadékot. A természeti környezettel való közvetlen kapcsolat révén a tanösvények elősegítik a tapasztalati tanulást, elmélyítik a hallgatók megértését és növelik a környezeti tudatosságot. Emellett hozzájárulnak a hallgatók és az egyetemi közösség mentális és fizikai jóllétéhez, valamint erősítik az egyetem és a helyi közösség közötti kapcsolatot.

A tanulmány hangsúlyozza, hogy a tanösvények tervezése és kezelése komplex feladat, amely ökológiai, pedagógiai és közösségi szempontokat egyaránt figyelembe vesz. A sikeres tanösvények vonzóak, oktató jellegűek és hozzáférhetőek mindenki számára, valamint fenntartható módon kezelik őket a hosszú távú siker érdekében. A technológia integrálása és a közösségi bevonás tovább növelheti a tanösvények hatékonyságát és népszerűségét. A Soproni Egyetem tanösvénye jó példa arra, hogyan lehet egy ilyen létesítményt a hallgatók oktatásának és a fenntarthatósági törekvéseknek a szolgálatába állítani. A felmérés eredményei azt mutatják, hogy a hallgatók nyitottak a tanösvény által kínált lehetőségekre, és érdeklődnek a fenntarthatósággal kapcsolatos ismeretek bővítése iránt.

A jövőbeli kutatásoknak érdemes lenne feltárni a különböző tanösvénytípusok, a tanítási módszerek és a hallgatói csoportok közötti különbségeket. Emellett fontos lenne a tanösvények gazdasági és társadalmi hatásainak mérése, valamint a bevált gyakorlatok és a sikertényezők azonosítása. Az ilyen kutatások hozzájárulhatnak az egyetemi tanösvények még hatékonyabb alkalmazásához a fenntartható fejlődés előmozdítása érdekében.

References

- AL-MULALI U. – TANG C. F. – OZTURK I. (2015): Evaluating the environmental research performance of universities in the top European countries: A novel composite index approach. *Ecological Indicators*, 48:174-182.
- ARNHEIM R. (1974): *Art and visual perception: A psychology of the creative eye*. Univ of California Press.
- BERKSHIRE COMMUNITY COLLEGE. (n.d.): John Lambert Nature Trail. Berkshire Community College. <https://www.berkshirecc.edu/about/john-lambert-nature-trail/>
- BERMAN M. G. – KROSS E. – BERMAN V. – ELLISON S. – SU Y. – RASKIN J. (2012): Interacting with nature improves cognition and affect in urban residents. *Journal of Environmental Psychology*, 32(3):295-303.
- BLEICHER R. E. (1994): Revisiting and extending the concept of learning cycle. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(4):389-407.
- CORNELL UNIVERSITY. (n.d.): Sustainable Landscape Trail. Cornell University. <https://sustainable-campus.cornell.edu/get-involved/tours/sustainable-landscape-trail>
- DOYLE M. E. – STRAUS K. (2001): *How to make meetings work: The new interaction method*. John Wiley & Sons.
- FABER TAYLOR A. – KUO M. – SPENCER R. C. – WILEY A. (2002): Views of nature and self-discipline: Evidence from inner city children. *Journal of Environmental Psychology*, 22(1-2):49-63.
- GESLER W. M. (1994): *The spirit of place and sense of being in western North Carolina*. University of North Carolina at Chapel Hill.
- HAIGH M. – GRIFFITHS M. (2009): The ecological, carbon and water footprints of higher education institutions: Tool, trends and driving forces. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 10(1):21-35.
- HARTIG T. – MITCHELL R. – DE VRIES S. – FRUMKIN H. (2014): Nature and health. *Annual review of public health*, 35:207-228.
- KOLB D. A. (2014): *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. FT press.
- MOORE R. C. – WONG H. H. (1997): *Natural learning: Rediscovering nature's way of teaching*.
- ORR D. W. (1994): *Earth in mind: On education, environment, and the human prospect*. Island Press.
- SANDELL K. – SVANBERG I. (2015): Learning, culture and encounters in outdoor environments. *Environmental Education Research*, 21(6):873-887.
- SANDELL K. – SVANBERG I. (2016): University students' experiences of place and nature during a field course. *Journal of Adventure Education and Outdoor Learning*, 16(3):228-242.
- SOPRONI EGYETEM (2023): A Soproni Egyetem épületgépészeti rendszereinek biomassza hőtermelés alapú ellátásának kiépítése. <https://greenuniversity.uni-sopron.hu/soproni-egyetem-biomassza-hotermeles>
- SOPRONI EGYETEM (2025): Zöld Egyetem. Soproni Egyetem. <https://greenuniversity.uni-sopron.hu/labels-sustainability>
- SUNY OSWEGO (n.d.): Rice Creek Field Station. SUNY Oswego. <https://www.oswego.edu/rice-creek>
- THACKRAY R. – PHEASANT S. (2003): The use of virtual reality in environmental design. *Ergonomics*, 46(8):761-777.
- TTU TODAY. (n.d.): Outdoor Learning Center. Texas Tech University. <https://today.ttu.edu/posts/2021/09/stories/outdoor-learning-center>
- ULRICH R. S. – SIMONS R. F. – LOSITO B. D. – FIORITO E. – MILES M. A. – ZELSON M. (1991): Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, 11(3):201-230.
- WARBURTON D. E. R. – NICOL C. W. – BREDIN S. S. D. (2006): Health benefits of physical activity: the evidence. *Canadian Medical Association Journal*, 174(6):801-809.

HAZAI SZÁRAZSÁGI HATÁRON TALÁLHATÓ KOCSÁNYTALAN TÖLGYESEK GENETIKAI TARTALÉKAI

Genetic reserves of sessile oak stands on the xeric limit in Hungary

EPERJESI SÁNDOR MIKLÓS¹, NÉMETH TAMÁS MÁRTON², MÓRICZ NORBERT²,
LADOS BOTOND BOLDIZSÁR¹, DOBÓ MÁRTON ISTVÁN², CSEKE KLÁRA¹

¹ Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet Nemesítési Osztály

² Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet Ökológiai és Erdőművelési Osztály
eperjesi.sandor@uni-sopron.hu

Kivonat

Magyarországon, Délkelet-Európa más alacsony fekvésű területeihez hasonlóan a zárt lombkoronájú erdők az ökológiai tűrőképességük határán élnek, ahol a vízhiány a legfontosabb korlátozó tényező. A szárazsági határon elhelyezkedő kocsánytalan tölgyesek (*Quercus petraea* s.l.) gyakran keverednek molyhos tölgygel (*Quercus pubescens* s.l.). A két fajkomplex közötti reprodukciós gát hiánya hibridizációt és introgressziót tesz lehetővé, amelynek mértékét hazánkban eddig kevesen vizsgálták.

Vizsgálatunkban három régió (Vértes, Pilis, Aggteleki-karszt) szárazsági határon fekvő kocsánytalan–molyhos tölgyeseinek genetikai mintázatát elemeztük. Húsz nukleáris mikroszatellit marker segítségével elemeztük a genetikai struktúrát, valamint dendrokronológiai vizsgálatokat is végzünk az aszályra adott válaszok feltárására. A mintákat makromorfológiai jegyek alapján kocsánytalan tölgy (PET), molyhos tölgy (PUB) és hibrid (HIB) csoportokba soroltuk.

Célunk olyan markerek tesztelése volt, amelyek alkalmasak a fajok elkülönítésére, a hibridek felismerésére és a regionális genetikai különbségek kimutatására. Előzetes eredményeink szerint a két fő taxon jól elkülönül, a hibrid egyedek pedig genetikai szempontból közelebb állnak a molyhos tölgyhöz. Számos első generációs hibridet és introgresszált genotípust azonosítottunk, amelyek nem kizárólag a hibrid morfológiai csoportokra korlátozódtak.

Abstract

In Hungary, similarly to other lowland regions of Southeast Europe, closed-canopy forests occur near the limits of their ecological viability, where water availability is the main limiting factor. At their xeric limit, sessile oak stands (*Quercus petraea* s.l.) frequently intermingle with downy oak (*Quercus pubescens* s.l.). The lack of reproductive barriers between these two species complexes of the subgenus *Lepidobalanus* allows hybridization and introgression, yet the extent of this process has been only sparsely studied in Hungary.

In this study, we analyzed the genetic patterns of sessile–downy oak stands located at the dry distribution limit in three regions of Hungary (Vértes, Pilis, and Aggtelek Karst). Genetic structure was assessed using twenty nuclear microsatellite markers, and dendrochronological analyses are also being conducted to examine tree responses to drought events. Based on macromorphological traits, sampled individuals were classified as sessile oak, downy oak, or morphologically intermediate (hybrid).

Our aim was to identify markers potentially suitable for routine analyses that effectively differentiate the species, detect hybrid individuals, and distinguish regional genetic patterns. Preliminary genetic results indicate a clear separation between the two main taxa, while individuals classified as hybrids show closer genetic affinity to downy oak. Numerous first-

generation (F1) hybrids and introgressed genotypes were detected, not exclusively within the morphologically hybrid group.

Bevezetés

Az Éghajlatváltozás Kormányközi Testülete (IPCC) 2013-ban megjelent ötödik helyzetértékelő jelentése szerint tisztán látható az éghajlati rendszer felmelegedése az 1900-as évektől kezdődően, amely a bolygó ökoszisztémájának egészére hatással van (IPCC, 2013; Nagy, 2015). Globális szinten a szárazföldekre vetített évi átlaghőmérséklet 1880-tól napjainkig 1 °C-ot emelkedett, és az utóbbi 30 évben a felmelegedés üteme felerősödött és meghaladta a 0,2°C-os évtizedenkénti emelkedést (Bartholy et al., 2011; Gulyás, 2017). A szervezet XXI. századra vonatkozó előrejelzései mind a négy évszak esetében hőmérséklet-emelkedést mutat és Európa felmelegedése várhatóan magasabb lesz a globális átlagnál (Anders et al., 2013). A fokozódó aszályok és csapadékhiány komoly kihívás elé állítják a földrész délkeleti, alacsonyan fekvő és sérülékeny régióinak mező- és erdőgazdálkodását (Mátyás & Czimber, 2000; Alexandrov és Eitzinger, 2005; Gálos et al., 2012, 2015).

Magyarország (és Délkelet-Európa bizonyos részei) a zárt koronaszintű erdei ökoszisztémák életfeltételének a határán van, ezen a területeken, főleg a domb- és síkvidékeken a csapadék és a vízellátás képezi a vegetáció minimum tényezőjét (Mátyás, 2007). Ezért a szárazsági erdőhatár ('xeric limit') rendkívül fontos faktor hazánkban, ugyanis minden állományalkotó és gazdaságilag fontos fafaj esetében kimutatható (Mátyás et al., 2010; Kottek & Király, 2019). Országunk nyilvántartott erdőterületeinek (1,882 millió ha) mintegy harmadát a tölgyek (beleértve a csertölgyet is) adják (0,615 millió ha), így ökológiai és gazdasági értelemben is kiemelt jelentőséggel rendelkeznek. Közülük a domb- és hegyvidéki kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) 174 ezer hektáron fordult elő (az ország erdeinek 9,3%-a), így az akác, a csertölgy és a kocsányos tölgy után a negyedik legelterjedtebb kemény lombos fafaj (Leporelló, 2024). Klímaindikátor szereppel bír, mivel páraigénye meghatározó az erdészeti klímazónák elkülönítésében (Járó, 1966, 1972). Még 1993-ban Szodfridt arról írt, hogy a fafaj hazai területfoglalása emelhető, hiszen termőhelyét több tízezer hektáron a gazdaságilag értéktelenebb cser és gyertyán foglalja el (Szodfridt, 1993), illetve néhány kutatás (Kunz et al., 2018; Kuehne et al., 2020; Černý et al., 2024) szerint a szárazságtűrése miatt a kocsánytalan tölgy erdőgazdasági szerepe növekedni fog az elkövetkezendő időkben. Ezzel szemben számos, a klímamodellek forgatókönyveire alapozott kutatás a fafaj hazai elterjedési területének jelentős visszaszorulását prognosztizálja az évszázad során (Czucz et al., 2013; Illés & Móricz, 2021).

Az Országos Erdőállomány Adattár 2024-es adatai alapján a fafaj állományainak egy jelentős része (kb. 28 ezer ha) száraz dombvidéki termőhelyeken fordul elő (Adattár, 2024). Ahol a faj eléri termőhelyi igényeinek szélső értékét, az állományok átmeneti zónájában a mediterrán viselkedésű molyhos tölgygel (*Quercus pubescens* Willd.) elegyedik (Keresztesi, 1967; Borhidi & Sánta, 1999). Mindkét taxon a *Lepidobalanus* alnemzetséghez tartozik, amelyen belül nincs reprodukciós akadály, így ezeken a területeken hibridizáció történhet (Curtu, 2007; Jensen et al., 2009; Kanalas et al., 2009). A hibridizáció és az introgresszió fontos szerepet játszhat a tölgyek evolúciós sikerében és fokozza a genetikai, illetve morfológiai diverzitást (Salvini et al., 2009; Fortini et al., 2015). A fák genetikai diverzitásának térbeli változatossága meghatározza a fás populációk környezeti változásokhoz való alkalmazkodását, ami elengedhetetlen az erdei ökoszisztéma hosszútávú fenntarthatósága szempontjából (Pautasso, 2009).

A két faj közötti génáramlás pontos mértékét nem ismerjük, és nemzetközi szinten is kevés kutatás foglalkozott a kérdéssel (Curtu et al., 2007; Salvini et al., 2009). Továbbá árnyalja a

képet, hogy mindkét tölgy faj fajkomplexxként van jelen hazánkban, így feloszthatók további szűken értelmezett csoportokra:

- a kocsánytalan tölgy alapfajon belül megtalálhatók a szűken értelmezett kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. s.str.), továbbá a dárdáskaréjú (*Quercus dalechampii* Ten.) és az erdélyi kocsánytalan tölgy (*Quercus polycarpa* Schur.);
- a molyhos tölgy alapfajon belül pedig a valódi molyhos tölgy (*Quercus pubescens* s. str.) és az olasz tölgy (*Quercus virgiliana* Ten.).

Ezen „kisfajok” mindegyike, a szűken értelmezett kocsánytalan tölgy kivételével kifejezetten száraz termőhelyekhez köthető (Schwarz, 1936; Mátyás, 1971). Ezek alapján feltehető a kérdés, hogy a helyi körülményekhez való adaptációs folyamatok és a molyhos tölgy felől érkező génkészlet hozzájárul-e a kocsánytalan tölgy helyi fennmaradásához vagy a visszaszorulásuk ütemének mérsékléséhez, és ha igen, milyen mértékben.

A kérdésre dendroökológiai és genetikai mintázat feltárásával keressük a választ. A genetikai vizsgálat célja betekintést nyerni a hazai marginális termőhelyeken tenyésztő kocsánytalan tölgyes állományok genetikai diverzitásába és a molyhos tölgyekkel kialakuló esetleges génáramlás folyamataiba. Ezen felül törekszünk a fajok elkülönítésére és a hibridek, introgresszált egyedek azonosítására, hiszen a megfelelő csoportok definiálása kulcsszerepet játszik a dendrokronológiai értékelésekben is. A dendroökológia vizsgálatokkal a két fafaj, illetve ezek hibridjeinek, introgresszált egyedeinek növedékképzési sajátosságát vetjük össze évgyűrűiknek elemzésével. Az egyedi eltéréseket ezután komplex klímáparaméterek összevetésével elemezhetjük tovább, amely során összefüggéseket igyekszünk feltárni a csoportok növekedési sajátosságai és a klimatikus hatások között.

A genetikai mintázat vizsgálatának leggyakrabban használt eszközei a sejtmagi mikroszatellit (más néven nSSR, nuclear Simple Sequence Repeats) markerek, amelyek a növényi genetikai vizsgálatok egyik leggyakrabban alkalmazott markerei (Taheri et al., 2018). A mikroszatellit 1-6 bázispárból álló tandem DNS szakasz ismétlődések, amelyek funkciói ezidáig ismeretlenek, és többnyire semleges (nem adaptív) mintázatot hordoznak. A szekvencia motívumok ismétlődésszáma rendkívüli változatosságot produkál az egyedek között, amely alkalmassá teszi egyedi szintű genetikai azonosításra (genetikai ujjlenyomatozás), finomléptékű állománystruktúrák feltárására, hibridizációs folyamatok azonosítására és a nagyobb földrajzi léptékű genetikai mintázat feltérképezésére is (Lefort et al., 1999; González-Martínez et al., 2002; Kesic et al., 2021).

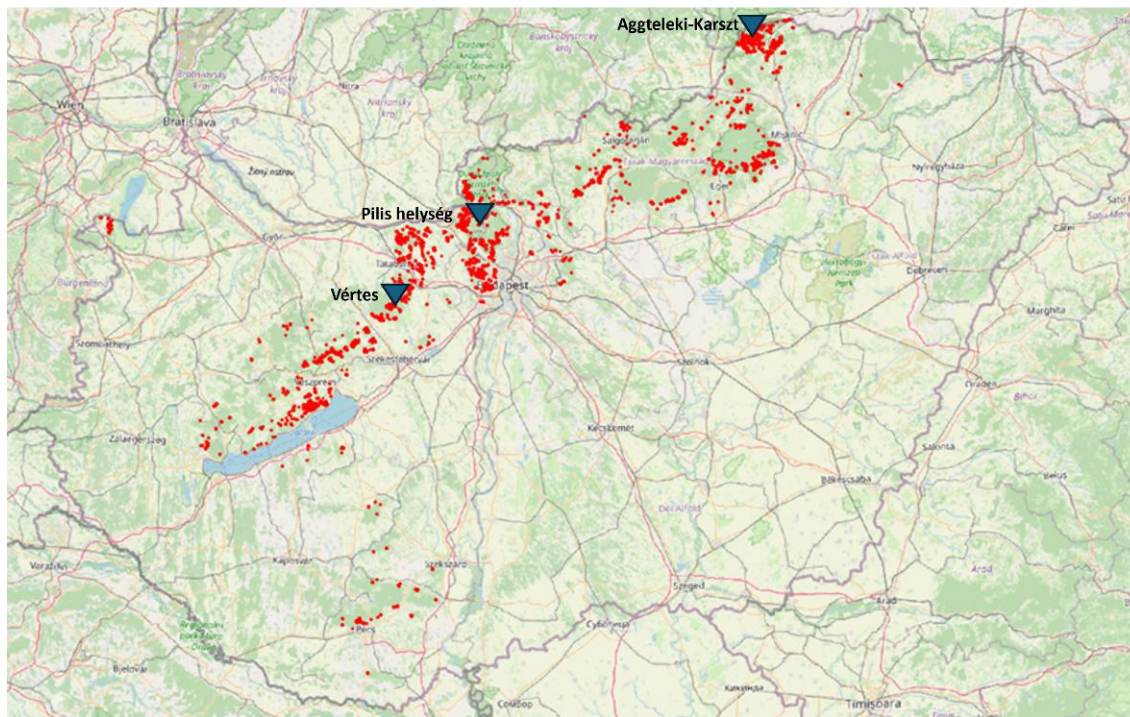
Jelen cikkben a genetikai vizsgálatok részeredményeit és az azokból levonható következtéseinket tárgyaljuk. A vizsgálat elsődleges célja a markerezési módszer alkalmazhatóságának előzetes tesztelése volt a kiterjedt, komplex elemzések megkezdése előtt.

Anyag és módszer

Mintavételezés

A genetikai és dendrokronológiai vizsgálatokhoz a Vértes (Gánt 54/A) és az Aggteleki-karszt (Jósvafő 14/A, 16/A, 16/B) területéről összesen 144 db faegyedről gyűjtöttünk be levél, illetve furat mintákat 2025 folyamán. Jelen vizsgálatban összesen 96 egyed genetikai mintázatának feltárását végeztük el. A mintavétel során a kijelölt egyedeket makromorfológiai jegyek alapján taxonómiai csoportokba – kocsánytalan tölgy, molyhos tölgy vagy hibrid – soroltuk. A csoportok megkülönböztetésére a következőkben a PET_V; HYB_V; PUB_V; PET_A; HYB_A; PUB_A jelöléseket használjuk.

Az elemzéseket kiegészítettük a korábban feldolgozásra került (Dobó, 2024), Pilisszántó 12/B erdőrészletből származó 25 db kocsánytalan tölgy (PET_P) és 12 db molyhos tölgy (PUB_P) mintasorával is referencia jelleggel. Az elemzéseket így összesen 133 mintával végeztük el. Az állományok topográfiai helyzetét az 1. ábra szemlélteti, ahol a pirossal jelzett pontok azokat az erdőrészleteket jelöli, amelyekben a két tölgy faj együttesen fordul elő (Adattár, 2024).



1. ábra: a mintaterületek elhelyezkedése

Laboratóriumi vizsgálatok

A fagyasztott levélmintákból DNS extrakciót végeztünk ATMAB protokollal (Dumolin et al. (1995); Bruegmann et al. 2022). Az egyedek genotipizálására a következő 20 nSSR markert alkalmaztuk: QpZAG7, QpZAG9, QpZAG15, QpZAG16, QpZAG36, QpZAG110, QpZAG1/5 (Steinkellner et al., 1997); QrZAG11, QrZAG20, QrZAG30, QrZAG87, QrZAG101, QrZAG112, QrZAG96 (Kampfer et al., 1998); MSQ4, MSQ13 (Dow et al., 1995); quru-GA-0C11, quru-GA-0M07, quru-GA-1C08 (M13), (Aldrich et al., 2002), QM50-3M (Isagi & Suhandono, 1997). A PCR reakciókhoz a GoTaq G2 Flexi DNS polimeráz enzim készletet (Promega Corporation, Madison, WI USA) használtuk az irodalomban közölt protokollt követve. A markereket négy szettbe csoportosítottuk azon rendezőelv szerint, hogy a kapillaris gélelektroforézis során a fragmentumhosszak a jelölésükre alkalmazott festék vagy a mérettartományuk alapján különüljenek el (1. táblázat). A fragmentanalízist az ABI 35000 xl készüléken a BIOMI Kft. (Gödöllő) végezte el, GeneScan LIZ 500 (Applied Biosystems) belső méretstandard alkalmazásával.

1. Táblázat: Alkalmazott markerszettek (zárójelben az alkalmazott fluoreszcens jelölés).

1. szett: ssrQrZAG 112 (NED), ssrQrZAG 87 (PET), ssrQrZAG 30 (VIC), ssrQrZAG 20 (6-FAM).	2. szett: ssrQpZAG 15 (6-FAM), ssrQrZAG 9 (PET), ssrQrZAG 110 (NED) és MSQ13 (6-FAM), ssrQrZAG 101 (NED), ssrQpZAG 1/5 (VIC), ssrQrZAG 11 (VIC)
3. szett: ssrQpZAG 7 (ATTO565), ssrQpZAG 16 (56FAM), MSQ4 (HEX), ssrQpZAG 36 (56FAM)	4. szett: quru-GA-0C11 (NED), quru-GA-0M07 (PET), quru-GA-1C08 (PET), QM50-3M (VIC)

Populációgenetikai elemzések

A fragmentanalízis során kapott nyers adatok leolvasásához az Osiris szoftvert használtuk (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/osiris/overview>).

Az alkalmazott mikroszatellit markerek közül egy (QrZAG96) nem biztosított megfelelő eredményeket a teljes adatsoron, így töröltük a további elemzésekből.

Az egyedi genotípus adatok minőségellenőrzése során négy minta (kettő a PET_V és kettő a MOT_A csoportból) nagyszámú hiányzó allélt tartalmazott, emiatt az elemzésekből törlésre kerültek. Így a populációgenetikai elemzéseket összesen 129 egyeddel végeztük el.

A populációgenetikai vizsgálatainkhoz több különböző módszert alkalmaztunk a hipotéziseink megfelelő alátámasztása érdekében. Az alapvető populációgenetikai mutatókat, nevezetesen a markerenkénti allélszámot (N_a), az effektív allélszámot (N_e), az egyedi allélek számát (N_p), a Shannon-indexet (I), a megfigyelt heterozigóciát (H_o), a számított heterozigóciát (H_e), az egyedszámmal súlyozott számított heterozigóciát (uH_e) és a fixációs indexet (F) a GenAlex (Peakall & Smouse, 2006, 2012) szoftverrel számítottuk.

Az egyedek és a populációk közötti genetikai távolság mértékét megjelenítő főkoordináta elemzéshez (PCoA) szükséges genetikai távolság mátrixokat a GenALEx szoftver Genetic Distance és Genetic Distance by population opciójával készítettük el.

A populáció struktúrák részletesebb elemzésére a Bayes-féle klaszterezési módszeren alapuló STRUCTURE szoftverrel (Pritchard et al., 2000) folytattuk az elemzéseket. Az eredmények értékelésére a StructureSelector (<https://lmm.ac.cn/StructureSelector/>) platformot használtuk. A vizsgált genotípusokból kialakítható genetikai csoportok legvalószínűbb számát az Evanno-módszer (Evanno et al., 2005) alapján határoztuk meg.

Eredmények

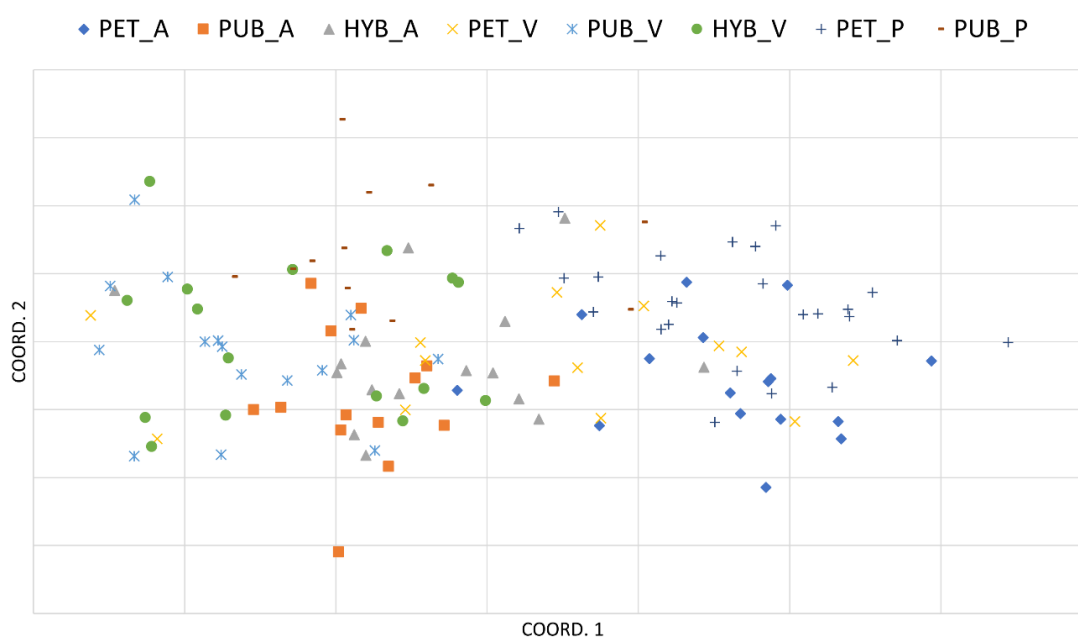
A vizsgált kocsánytalan tölgy állományok alapvető populációgenetikai mutatóit a 3. táblázatban foglaltuk össze. Megállapítható, hogy az alacsony csoportonkénti mintaszám ellenére, az alkalmazott 19 nSSR marker megfelelő felbontással rendelkezett az egyedi szintű genotípusok azonosítására (egyedi genetikai ujjlenyomat létrehozására) és a genetikai diverzitás felmérésére. A három erdészeti táj állománymintái egyöntetűen magas genetikai diverzitást mutattak. Ezek közül az Aggteleki-karszt molyhos tölgy csoportja (PUB_A) mutatta a legmagasabb változatosságot és általánosságban a molyhos tölgy csoportok (PUB_A és PUB_V) magasabb diverzitási mutatókkal rendelkeztek.

3. táblázat: A vizsgált állományok fontosabb populációgenetikai mutatói az alkalmazott 19 marker átlagában kifejezve (Pop ID = populációazonosító, N = mintázott egyedek száma, N_a = markerenként előforduló allélszámok átlaga, N_e = effektív allélszám, N_p = egyedi allélszám, I = Shannon-index, H_o = megfigyelt heterozigócia, H_e = számított heterozigócia, uH_e = egyedszámmal súlyozott heterozigócia, F = fixációs index)

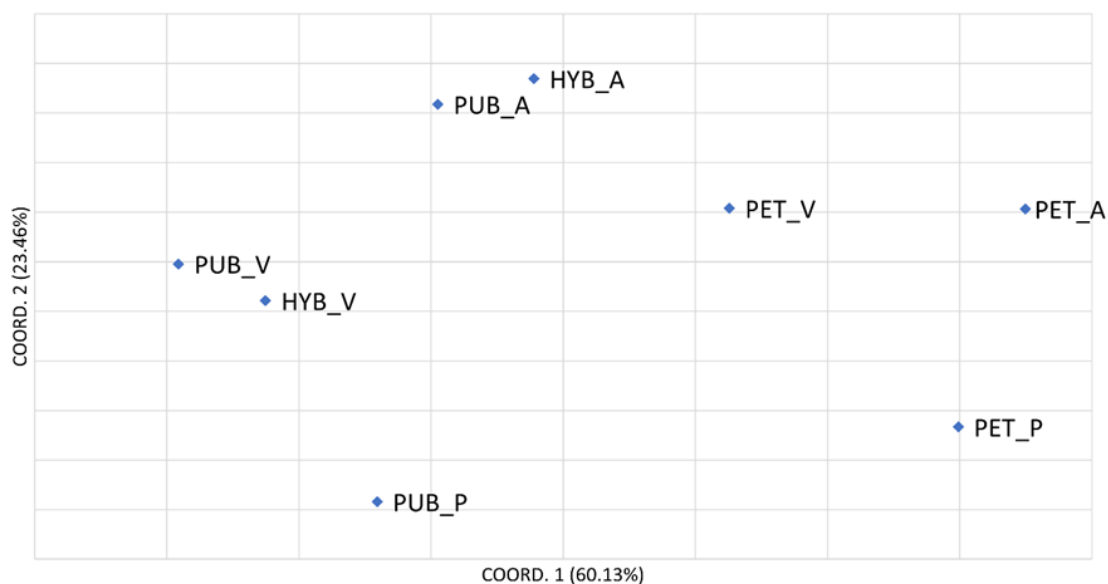
Pop ID	N	N_a	N_e	N_p	I	H_o	H_e	uH_e	F
PET_A	15,474	11,421	7,048	0,789	2,062	0,709	0,808	0,835	0,116
HYB_A	15,421	11,684	6,780	1,000	2,106	0,808	0,828	0,856	0,021
PUB_A	13,632	11,000	7,363	0,895	2,111	0,747	0,837	0,869	0,106
PET_P	24,526	13,526	7,023	1,737	2,145	0,751	0,821	0,838	0,080
PUB_P	11,895	9,474	6,481	0,947	1,961	0,743	0,806	0,841	0,086
PET_V	13,474	10,632	6,731	0,895	2,076	0,793	0,835	0,867	0,048
HYB_V	15,842	10,895	6,393	0,684	2,047	0,784	0,823	0,849	0,043
PUB_V	15,789	11,158	6,800	0,579	2,088	0,813	0,832	0,859	0,026

Bár az európai fehér tölgyek esetében egyelőre fajspecifikus markerek nem állnak rendelkezésre, ugyanakkor az alkalmazott nagyszámú nSSR markerek már elegendőnek bizonyultak, hogy statisztikai módszerekkel alátámasztva, nagy biztonsággal el tudjuk különíteni egymástól a két fő tölgy fajt. Egyes markerek (pl. ssrQrZAG 30; ssrQpZAG 16) kiemelten magas allélszámot, illetve effektív allélszámot mutattak ki.

Az egyedi és populáció szintű főkoordináta analízis (2.-3. ábra) jól szemlélteti a két fő fajtacsoport elkülönülését, továbbá a molyhos tölgy és a hibrid csoportok genetikai hasonlóságát ugyanazon erdészeti tájban.



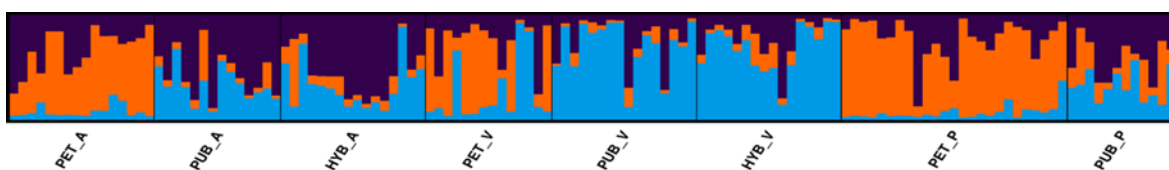
2. ábra: főkoordináta analízis (PCoA) az egyedek közötti genetikai távolságmátrix alapján



3. ábra: populáció szintű főkoordináta analízis (PCoA) a csoportok közötti genetikai távolságmátrix alapján

A Structure elemzéssel végzett klaszteranalízis szerint a legvalószínűbb klaszterszám $K=3$ volt a vizsgált mintasoron az Evanno-módszer alapján (4. ábra). A három elkülöníthető klasztert narancs, világos kék és lila szín jelzi:

- Az 1. narancsszínnel jelzett klaszter a kocsánytalan tölgy morfológiai csoporthoz köthető mindhárom erdészeti tájban.
- A 2. világoskékkel jelzett klaszter a vértesi helyszínen domináns a molyhos tölgy (PUB_V) és hibrid (HYB_V) csoportokban.
- A 3. lilával jelzett klaszter az Aggteleki-karszt molyhos (PUB_A) és hibrid (HYB_A) csoportjaiban domináns, de többé-kevésbé kimutatható a másik két tájon is a különböző morfológiai csoportokban.



4. ábra: a STRUCTURE elemzéssel meghatározott genetikai klaszterek

Következtetések

Az alkalmazott 19 nSSR marker megfelelő felbontással rendelkezik a két fő fajcsoport elkülönítésére, így javasolható a jövőben nagyobb mintaszámú elemzések elvégzésére is.

Előzetes vizsgálatunkban számos F1 jellegű (első generációs) hibridet és introgresszált (visszakereszteződött) genotípussal rendelkező egyedeket detektáltunk. Ugyanakkor ezek az egyedek nem csak az előzetesen hibrid csoportokba besorolt minták között fordultak elő. A hibrid morfológiai csoportok markáns hasonlóságot mutattak velük megegyező tájon található molyhos tölgy csoportok genetikai mintázatával, így ezek elválasztása nem volt lehetséges.

Érdemes kiemelni, hogy a földrajzilag köztes elhelyezkedésű pilisi molyhos tölgy csoport (PUB_P), a másik két vizsgált molyhos tölgy csoport (PUB_A és PUB_V) vegyes genetikai mintázatával (világoskék – lila) jelenik meg. Az előzetesen kocsánytalan tölgy csoportokba sorolt egyedek között mindhárom helyszínen nagy számban fordultak elő hibrid genotípussal rendelkező minták.

Összefoglalva a makromorfológiai bélyegeken alapuló taxonómiai besorolás nem került teljesen összhangba a genetikai osztályozás eredményével. Ez legszembevetőbb a kocsánytalan tölgy csoportoknál volt: a vértesi és az aggteleki-karszti helyszínen (PET_V, PET_A) az alaktani jegyek alapján ehhez a fafajhoz sorolt egyedek jelentős része (kb. 40%-a) vegyes genotípusúnak bizonyult.

Mindezek alapján feltételezhető, hogy a szárazsági határon előforduló kocsánytalan tölgyeinkben kiterjedt génáramlás zajlott a két fő tölgy, a kocsánytalan tölgy és molyhos tölgy, fafajcsoport között. Ennek a génáramlásnak jelenleg a lenyomatát látjuk az időskori állományban, de egy megfelelően tervezett utódvizsgálattal az aktuálisan zajló folyamatok is vizsgálhatóak a bemutatott módszerrel.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az alkalmazott, nagyszámú nSSR marker az alacsony mintaszám ellenére is megfelelőnek bizonyult a populációk genetikai diverzitásának feltárására. Ugyanakkor a mintaszám kiterjesztésével és további tájegységek bevonásával még precízebb képet nyerhetünk hazánk kocsánytalan-molyhos tölgyeseinek genetikai mintázatáról. A helyben adaptálódott genetikai erőforrások diverzitásának megismerése különösen fontos az erdészeti szaporítóanyag-gazdálkodás, és végső soron a tartamos erdőgazdálkodás tervezése szempontjából is, hiszen a genetikai változatosság a zárt erdőállományok túlélésének egyik záloga lehet.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet mondani a Vértesi Erdészeti és Faipari Zrt., a Pilisi Parkerdő Zrt. és az ÉSZAKERDŐ Erdőgazdasági Zrt. munkatársainak, akik segítő kezet nyújtottak, többek között tájékoztatás, idegenvezetés és vendéglátás formájában.

Továbbá a Kollégáinknak, akik hasznos tanácsokkal, iránymutatásokkal látnak el bennünket a kutatásunk során.

Irodalomjegyzék

- MÁTYÁS CS. – FÜHRER E. – BERKI I. – CSÓKA GY. – DRÜSZLER Á. – LAKATOS F. – MÓRICZ N., RASZTOVICS E. – SOMOGYI Z. – VEPERDI G. – VIG P. – GÁLOS B. (2010): Erdők a szárazsághatáron. Klíma 21 Füzetek 61: 84-97.
- ALEXANDROV V. A. – EITZINGER J. (2005): The potential effect of climate change and elevated air carbon dioxide on agricultural crop production in central and southeastern Europe. *Journal of Crop Improvement*, 13.1-2: 291-331.
- ANDERS I. – STAGL J. – AUER I. – PAVLIK D. (2014): Climate change in central and eastern Europe.
- BARTHOLY J. – BOZÓ L. – HASZPRA L. (2011): Klímaváltozás–2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke, Budapest, 287.
- BORHIDI, A. – SÁNTA A. (1999): Vörös könyv Magyarország növénytársulásairól 1-2. Természetbúvár Alapítvány Kiadó, Budapest
- BRUEGMANN T. – FLADUNG M. – SCHROEDER H. (2022): Flexible DNA isolation procedure for different tree species as a convenient lab routine. *Silvae Genet* 71:20–30. <https://doi.org/doi:10.2478/sg-2022-0003>

- ČERNÝ J. – SPULÁK O. – KOMÁNEK M. – ZIZKOVÁ E. – SÝKORA P. (2024): Sessile oak (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) and its adaptation strategies in the context of global climate change: a review. *Central European Forestry Journal*, 70.2: 77-94.
- CURTU A. L. – GAILING O. – FINKELDEY R. (2007): Evidence for hybridization and introgression within a species-rich oak (*Quercus* spp.) community. *BMC Evolutionary Biology*, 7(1), 218.
- CZÚCZ B. – GÁLHIDY L. – MÁTYÁS Cs. (2013): A bükk és a kocsánytalan tölgy elterjedésének szárazsági határa. *Erdészettudományi közlemények*, 3.1: 39-53.
- DOBÓ M. (2024): A kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) három állományának összehasonlító genetikai vizsgálata a Pilisi Parkerdő Zrt. területén (Diplomadolgozat, SOE).
- DOW B. D. – ASHLEY M. V. – HOWE H. F. (1995): Characterization of highly variable (GA/CT) n microsatellites in the bur oak, *Quercus macrocarpa*. *Theoretical and applied genetics*, 91, 137-141
- DUMOLIN S. – DEMESURE B. – PETIT R. J. (1995): Inheritance of chloroplast and mitochondrial genomes in pedunculate oak investigated with an efficient PCR method. *Theoretical and Applied Genetics* 91:1253–1256. <https://doi.org/10.1007/BF00220937>
- EARL D. A. – von Holdt B. M. (2012): STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. *Conservation Genetics Resources* 4:359–361. <https://doi.org/10.1007/s12686-011-9548-7>
- EVANNO G. – REGNAUT S. – GOUDET J. (2005): Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: a simulation study. *Mol Ecol* 14:2611–2620. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x>
- FORTINI, P. – DI MARZIO P. – DI PIETRO R. (2015): Differentiation and hybridization of *Quercus frainetto*, *Q. petraea*, and *Q. pubescens* (Fagaceae): insights from macro-morphological leaf traits and molecular data. *Plant systematics and evolution*, 301(1), 375-385.
- GÁLOS B. – MÁTYÁS Cs. – JACOB D. (2012): Az erdőtelepítés szerepe a klímaváltozás hatásának mérséklésében. *Erdészettudományi Közlemények*, 2(1): 35-45.
- GÁLOS B. – FÜHRER E. – CZIMBER K. – GULYÁS K. – BIDLÓ A. – HANSLER A. – JACOB D. – MÁTYÁS Cs. (2015): Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County. *Időjárás, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 119(4): 425–441.
- GONZÁLEZ-MARTÍNEZ S. – GERBER S. – CERVERA M. T. – MARTÍNEZ J. M. – ZAPATER – GIL L. – ALÍA R. (2002): Seed gene flow and fine-scale structure in a Mediterranean pine (*Pinus pinaster* Ait.) using nuclear microsatellite markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 104.8: 1290-1297.
- GULYÁS K. (2017): A klímaváltozás hatása a kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) elterjedésére és termelésére. Doktori (PhD) Értekezés, SOE.
- ILLÉS G. – MÓRICZ N. (2021): Hazai fafajok klímaanalóg területeinek vizsgálata a klímaváltozás tükrében. *Erdészettudományi Közlemények* 12 (2): 91-112 [online]. 2022.
- IPCC, 2013: *Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [STOCKER T.F. – QIN D. – PLATTNER G.-K. – TIGNOR M. – ALLEN S.K. – BOSCHUNG J. – NAU-ELS A. – XIA Y. – BEX V. – MIDLEY P.M. (szerk.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Egyesült Királyság és New York, NY, Egyesült Államok, 1535.
- JÁRÓ Z. (1966): A fafajok hazai elterjedése. In: Babos I., Horváthné Proszts S., Járó Z., Király L., Szodfridt I. & Tóth B. 1966: *Erdészeti termőhelyfeltárás és térképezés*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 136 p.
- JÁRÓ Z. (1972): Az erdészeti termőhely-értékelés rendszere. In: Danszky I. (ed): *Erdőművelés I. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest*, 47–256.
- JENSEN, J. – LARSEN A. – NIELSEN L. R. – COTTRELL J. (2009): Hybridization between *Quercus robur* and *Q. petraea* in a mixed oak stand in Denmark. *Annals of Forest Science*, 66(7), 706-706.
- KAMPFER S. – LEXER C. – GLOSSL J. – STEINKELLNER H. (1998): Brief report characterization of (GA) n microsatellite loci from *Quercus robur*. *Hereditas* 129, 1–86. [CrossRef]

- KANALAS P. – BOROVIČS A. – CSEKE K. – SZŐLLŐSI E. – OLÁH V. – FENYVESI A. – MÉSZÁROS I. (2009): Taxonómiai, populációgenetikai és fenológiai vizsgálatok egy síkfőkúti erdő nemes tölgyeinek körében. *Természetvédelmi Közlemények*, 15, 338-346.
- KERESZTESI B. (1967): A tölgyek. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- KESIĆ L. – CSEKE K. – ORLOVIĆ S. – STOJANOVIĆ D. B. – KOSTIĆ S. – BENKE A. – BOROVIČS A. – STOJNIĆ S. – AVRAMIDOU E. V. (2021): Genetic diversity and differentiation of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) populations at the southern margin of its distribution range—implications for conservation. *Diversity*, 13.8: 371.
- KOTTEK, P. – KIRÁLY É. (2019): A klíma változása kimutatható az Országos Erdőállomány Adattár klíma-kategóriáiban. *Erdészettudományi Közlemények* 9. évfolyam, 1. szám, 2019
- KUEHNE C. – PYTTEL P. – MODROW T. – KOHNLE U. – BAUHUS J. (2020): Seedling development and regeneration success after 10 years following group selection harvesting in a sessile oak (*Quercus petraea* [Mattuschka] Liebl.) stand. *Annals of Forest Science*, 77(3), 71.
- KUNZ J. – LÖFFLER G. – BAUHUS J. (2018): Minor European broadleaved tree species are more drought-tolerant than *Fagus sylvatica* but not more tolerant than *Quercus petraea*. *Forest Ecology and Management*, 414, 15-27.
- LEFORT F. – ECHT C. – STREIFF R. – VENDRAMIN G. G. (1999): Microsatellite sequences: a new generation of molecular markers for forest genetics. *Forest genetics*, 6.1: 15-20.
- MÁTYÁS Cs. (2007): Genetic background of response of tree populations to aridification at the xeric forest limit; consequences for climatic modelling. In: *Bioclimatology and Natural Hazards*. International Scientific Conference, Polana nad Detvou, Slovakia.
- MÁTYÁS Cs. – Czimber K. (2000): Zonális erdőtakaró mezoklíma szintű modellezése: lehetőségek a klímaváltozás hatásainak előrejelzésére. III. Erdő és Klíma Konferencia Debrecen, DE TTK Meteorológia Tanszék, 83-97.
- MÁTYÁS Cs. – BERKI I. – CZÚCZ B. – GÁLOS B. – MÓRICZ N. – RASZTOVITS E. (2010): Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6: 91-110.
- MÁTYÁS V. (1971): A magyarországi kocsánytalan tölgyfajok alakkörének kritikai elemzése. *Erdészeti Kutatások* 67 (I): 43-96.
- NAGY J. A. (2015): A klímaváltozásvárható regionális hatása az Európában vadon élő emlősök élőhelyére RCM szimulációk felhasználásával. Doktori (PhD) értekezés, ELTE.
- PAUTASSO, Marco (2009): Geographical genetics and the conservation of forest trees. *Perspectives in plant ecology, Evolution and Systematics*, 11.3: 157-189.
- PEAKALL R. – SMOUSE P. E. (2006): GenAlEx 6.4: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6: 288-295 <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x>
- PEAKALL R. – Smouse PE. (2012): GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics* 28:2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
- PRITCHARD J. K. – STEPHENS M. – DONNELLY P. (2000): Inference of Population Structure Using Multilocus Genotype Data. *Genetics* 155:945–959. <https://doi.org/10.1093/genetics/155.2.945>
- SALVINI D. – BRUSCHI P. – FINESCHI S. – GROSSONI P. – KJÆR E. D. – VENDRAMIN G. G. (2009): Natural hybridisation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus pubescens* Willd. within an Italian stand as revealed by microsatellite fingerprinting. *Plant Biology*, 11(5), 758–765. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2008.00158.x>
- STEINKELLNER, H – LEXER, C. – TURETSCHKE E. – GLÖSSL J. (1997): Conservation of (GA)n microsatellite loci between *Quercus* species. *Mol. Ecol.* 1997, 6, 1189–1194. [CrossRef]
- SCHWARZ O. (1936): *Monographie der Eichen Europas und des Mittelmeergebietes*. Feddes Repetitorium, Dahlem-Berlin.
- SZODFRIDT I. (1993): *Erdészeti termőhelyismerettan*, Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- TAHERI S. – LEE ABDULLAH T. – YUSOP M. R. – HANAFI M. M. – SAHEBI M. – AZIZI P. – SHAMSHIRI R. R. (2018): Mining and development of novel SSR markers using next generation sequencing (NGS) data in plants. *Molecules*, 23(2), 399. <https://doi.org/10.3390/molecules23020399>

Internetes hivatkozások:

Leporelló (2024), Agrárminisztérium, Budapest

Egyéb hivatkozások:

Országos Erdőállomány Adattár, 2024

A KÉK RIZSJÁCINT POPULÁCIÓDINAMIKAI ÉS CÖNOLÓGIAI VISZONYAI, ÉLŐHELYÉNEK VÍZKÉMIAI VIZSGÁLATA A HORTOBÁGY-BERETTYÓ FŐCSATORNÁN

Population dynamics and phytosociological relations of *Monochoria korsakowii*,
and hydrochemical analysis of its habitat in the Hortobágy-Berettyó Canal

FAZAKAS BENDEGÚZ, SCHMIDT DÁVID, VISINÉ RAJCZI ESZTER
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet
bendeguzfazakas@gmail.com

Kivonat

Kutatásunkban a *Monochoria korsakowii* Regel & Maack (kék rizsjácint) populációdinamikai és cönológiai viszonyait, valamint élőhelyének vízkémiai jellemzőit és allelopatikus tulajdonságait vizsgáltuk a Hortobágy-Berettyó főcsatornán 2022–2025 között. Eredményeink szerint a faj állományai három év alatt tízszeresére nőttek, terjedése pedig szignifikáns niche-átfedés és kompetíció révén veszélyeztetheti a védett *Nymphoides peltata* állományokat. A *M. korsakowii* előfordulása a magasabb kémiai oxigénigényhez (KOI) és az alacsonyabb nitrát-koncentrációhoz kötődött. A laboratóriumi vizsgálatok igazolták, hogy a növény vizes kivonatai hatással voltak a tesztnövény (*Sinapis alba*) növekedésére. A faj inváziós potenciálja jelentős, képes lehet hosszú távon átalakítani az érintett vízi életközösségek szerkezetét.

Abstract

This study investigated the population dynamics, coenological relationships, hydrochemical habitat characteristics, and allelopathic properties of *Monochoria korsakowii* Regel & Maack in the Hortobágy-Berettyó Main Canal between 2022 and 2025. Our results indicate that the population size increased tenfold over three years, and its spread may threaten protected *Nymphoides peltata* stands through significant niche overlap and competition. The occurrence of *M. korsakowii* was associated with higher chemical oxygen demand (COD) and lower nitrate concentrations. Laboratory experiments confirmed that aqueous extracts of the plant impacted the growth of the test plant (*Sinapis alba*). The invasive potential of the species is significant, and it may alter the structure of the affected aquatic communities in the long term.

Bevezetés

A biológiai inváziók mértékének és hatásának felmérése kulcsfontosságú a vizes élőhelyek faji diverzitásának megtartásában (LUKÁCS et al. 2016). Napjainkban egyre több adventív elemmel bővül a magyar flóra, többek közt a klímaváltozás hatásai és a természeti környezet átalakítása következményeként. E folyamat része a kék rizsjácint (*Monochoria korsakowii*) magyarországi megtelepedése és fokozatos térhódítása. A *Pontederiaceae* családba tartozó, Kelet-Ázsia mérsékelt övén honos fajt hazánkban feltehetőleg 1990-ben észlelték először, Ecsegfalva határában a Hortobágy-Berettyó partján (Templom-zug). A propagulumok indiánrizs (*Zizania aquatica* L.) vetőmagokkal kerülhettek be az országba (BARTHA, 2012). A Karcag környéki rizsföldeken több alkalommal hatalmas gradációt mutatott, e kultúrterületeken szinte ellehetetlenítette a *Zizania aquatica* természetét (BARTHA et al. 2000, FAZAKAS, 2024). Napjainkban már több előfordulása ismert az országból, amelyek mind a Közép-Tisza-vidékre koncentrálnak.

A vízi makrofitonok és élőhelyük vízkémiai állapota között szoros kölcsönhatás áll fenn. A *Pontederiaceae* család több képviselőjéről ismert, hogy képes jelentős mértékben

befolyásolni a víz tápanyagtartalmát, különösen a nitrogén- és foszforvegyületek tekintetében (FU – HE, 2015). Számos inváziós vízinövény – köztük a rokon *Pontederia crassipes* Mart. – termel olyan másodlagos anyagcseretermékeket, amelyek gátolják a környezetükben lévő növények csírázását vagy növekedését (WANG et al. 2009, KATO-NOGUCHI et al. 2014). Ennek ellenére a kék rizsjácint hazai vizekre gyakorolt hatásairól eddig kevés információ állt rendelkezésre.

Kutatásunk célja a *M. korsakowii* populációdinamikai és cönológiai viszonyainak feltárása volt a Hortobágy-Berettyó főcsatorna Bucsa és Túrkeve közötti szakaszán. Vizsgálataink során összefüggéseket kerestünk a faj borítottsága és a vízkémiai paraméterek között, valamint vizsgáltuk a növény allelopatikus potenciálját. Célunk annak tisztázása, hogy a faj terjedése milyen ökológiai kockázatot jelent a hazai vizes élőhelyek flórájára.

Anyag és módszer

Felméréseinket a Hortobágy-Berettyó Bucsa és Túrkeve közti szakaszán végeztük (38 fkm-es szakaszon). Teljes populációfelvételezést készítettünk, ahol a talált egyedeket leszámoltuk és dokumentáltuk. A térképi feldolgozások QGIS 3.34 szoftverrel (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2024) történtek. A 2023-as észlelések a Körös-Maros Nemzeti Park adatbázisából származnak.

A területen 20 darab 2×2 méteres dauer-kvadrátot jelöltünk ki. Ebből 15 kvadrátban megtalálható a rizsjácint, 5 pedig kontrollként szolgált, ahol nem fordult elő (az első 2024-es felvételezéskor). A felvételezés során rögzítettük az edényes növények fajonkénti borítási értékét, az összborítottságot, a vízmélységet, a vízhőmérsékletet és a degradációs tényezőket (pl.: lelegetés, taposás, antropogén hatás).

A fajok életforma-besorolása a Raunkiaer-féle rendszer (RAUNKIAER, 1934) alapján történt. A felvételezések eredményét ökológiai szempontok alapján is értékeltük a Borhidi-féle relatív ökológiai indikátorértékek jelzőszámaival (BORHIDI, 1995).

A kvadrátokból vízmintákat vételeztünk, melyekből laboratóriumban az alábbi komponenseket vizsgáltuk az ide vonatkozó magyar szabványok (MSZ) alkalmazásával: pH; elektromos vezetőképesség; kloridion-tartalom; nitrácion-tartalom; ammóniumion-tartalom; összes foszfortartalom; összes vízkeménység; kémiai oxigénigény. Az első évben (2024) a fent felsorolt összes vizsgálatot elvégeztük, míg a másodikban (2025) csak kifejezetten azokat, amik kapcsolatot mutattak a *M. korsakowii* borítottságával.

A vízkémiai és növényzeti változók közötti kapcsolatok feltárására főkomponens-analízist (PCA) alkalmaztunk (JOLLIFFE, 2002). A két év eredményeiből Spearman-féle rangkorrelációs mátrixot (SPEARMAN, 1904) készítettünk, annak vizsgálatára, hogy az egyes változók között kimutatható-e matematikai összefüggés. Az adatelemzéseket PAST 4.14 szoftverrel (HAMMER et al., 2001) végeztük.

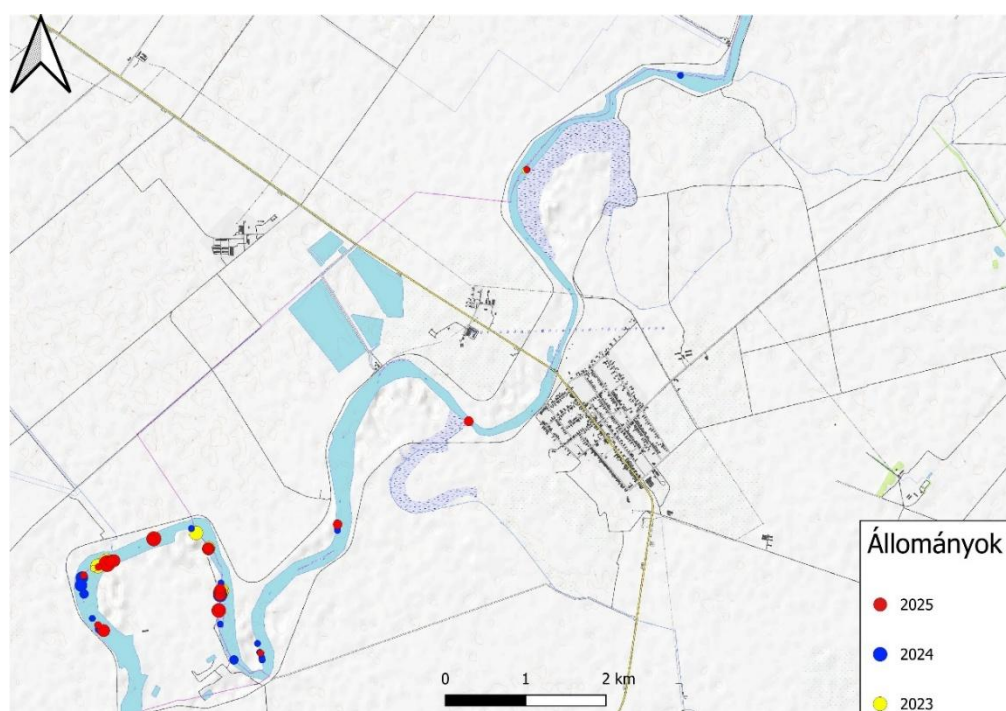
Az allelopatias vizsgálat CSISZÁR et al. (2012) által leírt módszer alapján alakult. Négy szelektált növényi részből (levél, szár, gyökérzet, virágzat) két különböző koncentrációjú vizes kivonat készült (1 g, illetve 5 g szárított növényi anyag / 100 ml desztillált víz). A kivonatok hatását fehér mustár (*Sinapis alba*) tesztnövényen vizsgáltuk, 3-3 ismétlésben, sötétben történő csíráztatással. Kontrollként desztillált vizet alkalmaztunk. Csírázási százalék esetén χ^2 -próbával (PEARSON, 1900), a hajtás- és gyökérhosszúság esetén Mann-Whitney teszttel (MANN-WHITNEY, 1947) értékeltük ki az eredményeket, amihez az InStat statisztikai programcsomagot alkalmaztunk. (GRAPHPAD SOFTWARE, 1997).

Eredmények

Populációdinamika: Felméréseink igazolták, hogy a *M. korsakowii* rohamos ütemben terjed a vizsgált szakaszon. Míg 2022-ben a becsült egyedszám 200 körül mozgott, addig 2025-re ez a szám meghaladta a 2500-at, ami több mint tízszeres növekedést jelent (1. táblázat). A térképi elemzés rávilágít a populációk folyásirány menti, fokozatos terjeszkedésére, valamint az egyes állományok kiterjedésének jelentős növekedésére (1. ábra). A faj elsősorban a lassú folyású, ellaposodó, pangó vizű kiöntéseket, kiszögelléseket kolonizálta. Ezek a területek egyben a szarvasmarhák által használt ivó, dagonyázó helyek, ahol a taposás és a szervesanyag-feldúsulás állandó zavarást biztosít.

1. Táblázat: Egyedszámok évenkénti változása

2022	2023	2024	2025
~200 db	~925 db	~611 db	~2554 db



1. ábra: A kék rizsjácint évenkénti állományairól készült térkép. A színek a különböző éveket, a pontméretek az állományok nagyságát mutatják.

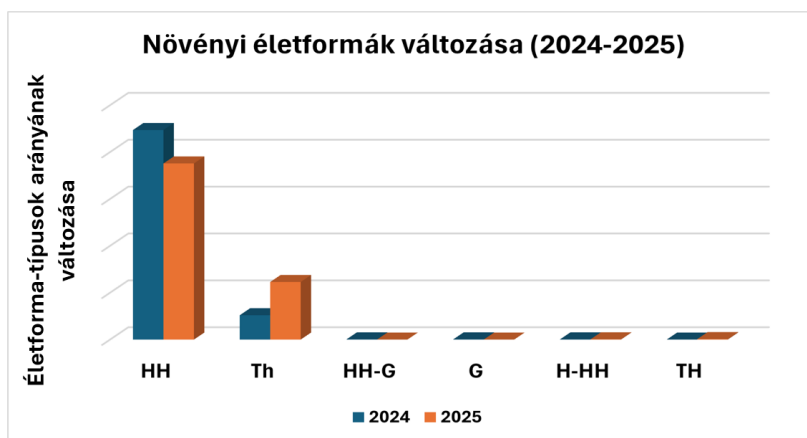
A térségben az ilyen jellegű élőhelyek csak a folyónak egy viszonylag rövid szakaszán található meg. Nagyjából arra a 10 folyamkilométerre koncentrálódnak, ahol a kék rizsjácint állományok 90 %-a található.

Rendszeresen tapasztaltuk a növény kiváló visszaszerző-, regeneráló képességét. A lelegelt egyedek újra hajtanak, virágot és termést is hoznak. 2025-ben figyeltünk meg először olyan állományokat, melyek monodomináns, akár több száz m²-es foltokat alkottak, ezzel teljesen kiszorították a természetes vegetációt (leginkább a *N. peltata* állományokat).

Cönológiai eredmények: 2024 és 2025 közt a vegetáció jelentős szerkezeti átalakuláson ment keresztül. A kék rizsjácint összborítottságának aránya még úgy is növekedést mutatott, hogy 2024-ben 15 kvadrátban volt jelen, míg 2025-ben csak 10 kvadrátban. A kvadrátonkénti alacsony *M. korsakowii* borítottságokat felváltották a sokkal dominánsabb, magas borítottságok. A *Lemna* fajok kvadrátonkénti aránya harmadára csökkent, így 2025-ben már a

Pontederiaceae család képviseltette magát legnagyobb arányban az *Araceae* helyett. A klonális növekedéssel is terjedő fajok aránya jelentősen növekedett (*Glyceria maxima*, *Typha angustifolia*, *Phragmites australis*).

A Raunkiaer-féle életformáknál megfigyelhető (2. ábra), hogy a hydato-helophyták (HH) aránya ~15%-ot csökkent, míg a therophyták (Th) aránya több mint duplájára nőtt. Ez terepen is szembetűnő volt, mivel a kisebb vízmélységű kvadrátokban sokkal nagyobb arányban voltak jelen többek közt a különböző keserűfű fajok (*Persicaria* spp.).



2. ábra: Növényi életforma-típusok arányainak változása (2024-2025).

A kék rizsjácint a tündérfátyolnak alkalmas élőhelyeken terjeszkedett az esetek többségében (mivel ökológiai fülkéjük közel azonos), így annak borítottsága közel harmadára esett vissza a vizsgált kvadrátokban (2,4%-ról 0,9%-ra).

A Borhidi-féle relatív ökológiai indikátorértékek (2. táblázat) változásánál a kék rizsjácint nélküli súlyozott borítottsággal számoltunk. Az alábbi indikátorértékekben történt lényegi változás:

2. Táblázat: Borhidi-féle relatív ökológiai indikátorértékek

	TB	WB	RB	NB	LB	KB	SB
2025	5,9	10,3	6,91	6,72	7,39	4,5	0,55
2024	5,64	10,59	6,97	6,33	7,17	3,76	0,11

A **KB**-érték a szubatlanti, közép-európai súlypontról, átmeneti, gyengén szubatlanti és szubkontinentális-jellegű irányba változott. A relatív nitrogénigény (**NB**) mérsékelten tápanyag-gazdag irányból tápanyag-gazdagba változott. A talajnedvesség-értékének (**WB**) enyhe változása kifejezetten érdekes, mivel „vízben úszó, gyökerező vagy lebegő vízi szervezetek” irányból „változó vízellátás” felé tolódott (a 2. ábra is mutatja, hogy a hydato-helophyták aránya visszaesett).

Vizkémia: A vízkémiai vizsgálatok során a *M. korsakowii* által borított és a kontroll kvadrátok között markáns különbségek rajzolódtak ki. Az előzetes feltételezéseinket igazolva leginkább azon paraméterek átlaga tért el, amelyek a víz szervesanyag-felhalmozódását és trofikus szintjét jelzik. Meglepő eredmény, hogy bár a vizsgált szakaszon erős volt a szarvasmarhák jelenléte (taposás, trágyázás), az oldott ammónium- és nitrátion-koncentrációk nem lépték át a kritikus határértékeket.

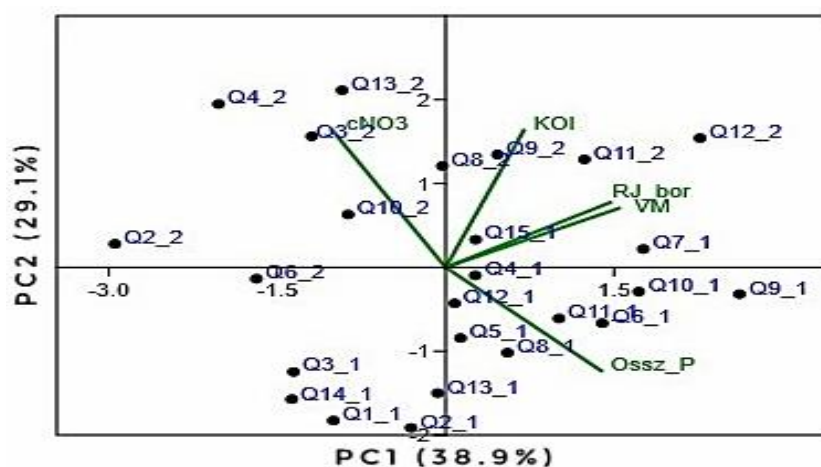
3. Táblázat: Spearman-féle korrelációs mátrix. (A felső háromszögében a p-értékek, az alsó háromszögében pedig az egyes változók közti korrelációs együtthatók (r_s) szerepelnek)

	RJ	pH	Vez.kép.	KOI	cNO ₃ ⁻	Összes P
RJ		0.6427	0.49916	0.01402	0.20513	0.39274
pH	-0.076672		0.12492	0.56333	0.00951	0.000396
Vez.kép.	0.11151	-0.24992		0.5512	0.0045951	0.062918
KOI	0.39035	-0.095431	-0.0984		0.16491	0.68404
cNO ₃ ⁻	-0.20743	0.41013	-0.44438	0.22685		0.049858
Összes P	0.16189	-0.60513	0.34372	-0.07748	-0.36122	

A Spearman-féle rangkorreláció eredményei (3. táblázat) megerősítették, hogy a faj előfordulása pozitív korrelációt mutat a kémiai oxigénigénnyel ($r=0,39$). A rizsjácintos mintákban mért KOI értékek mindkét évben átlagosan magasabbak voltak, ami a növény által preferált pangó vizes élőhelyek jellegéből, valamint a jelentős növényi biomassza bomlásából adódik.

A bomlási folyamatokra utal az összes foszfor és a kémhatás (pH) között kimutatott negatív korreláció ($r=-0,61$) is (a szervesanyag-bomlás során felszabaduló szén-dioxid csökkenti a víz pH-ját). Ezzel párhuzamosan a nitrátion-koncentráció csökkenő tendenciát mutatott a rizsjácint borítottságának növekedésével, ami a növény aktív tápanyagfelvételével magyarázható. Ez egyezik a *Pontederiaceae* fajok nitrogénkötő képességét igazoló szakirodalmi adatokkal (FU-HE, 2015).

A környezeti változók közötti mintázatokat a PCA elemzés (4. ábra) tárta fel: A **PC1 tengely (38,9% variancia)** határozza meg leginkább a *M. korsakowii* elterjedését. Az eredmények alapján a faj mennyisége pozitív összefüggést mutat a tápanyagtartalommal; a növény egyértelműen a mélyebb (35-45 cm), tápanyagdúsabb vizeket preferálja. A **PC2 tengely (29,1% variancia)** elkülöníti a nitrátban gazdagabb (kontroll) területeket a foszforban és szerves anyagban gazdagabb (rizsjácintos) területektől. A KOI-vektor iránya rámutat, hogy a szervesanyag-terhelés nem kizárólag az eutróf pontokon, hanem a mérsékelt tápanyagdús, nitrátban gazdag mintákban is jelentős lehet.



4. ábra: Főkomponens-analízis, melyben a változók és a kvadrátok helyezkednek el.

Jelentős időbeli változások is megfigyelhetők voltak: 2024 és 2025 között a kémiai oxigénigény és a nitrátion-tartalom átlagosan emelkedett (4. táblázat). Ez a változás összhangban

van a növekvő szervesanyag-produktummal és a trofikus szint emelkedésével, amit a cönológiai felvételek Borhidi-féle nitrogénigény (NB) értékeinek pozitív irányú eltolódása is alátámaszt (2. táblázat).

Hangsúlyozni kell azonban, hogy a kétéves adatsor alapján feltárt összefüggések elsősorban tendenciákat jeleznek, a hosszú távú folyamatok megértéséhez további vizsgálatok szükségesek.

4. Táblázat: Vizsgált komponensek éves átlaga

Év	KOI mg/l	cNO3 mg/l	Összes P mg/l
2024	5,72	0,41	0,37
2025	6.66	1,22	0,23

Allelopátia: A laboratóriumi vizsgálatok során a *M. korsakowii* vizes kivonatainak hatását teszteltük fehér mustár (*Sinapis alba*) csírázására és növekedésére. Bár a csírázási százalékban nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest, a növekedési paraméterek markánsan változtak (5. ábra). A Mann-Whitney teszt alapján a szárkivonatok mindkét töménységben (1 g és 5 g), míg a levélkivonatok közül csak az alacsonyabb koncentrációjú (1 g) gátolta szignifikánsan ($P < 0,05$) a tesztnövény gyökérnövekedését. A virágzat- és gyökérkivonatok nem gyakoroltak hatást a gyökérfejlődésre.

Ezzel szemben a hajtásnövekedést a kontrollhoz képest szinte minden kezelés serkentette. Kiemelkedő, statisztikailag is erős ($p < 0,0001$) növekedésserkentő hatást mutatott az 5 g-os szár- és virágzat kivonat. A gyökérnövekedés szelektív gátlása arra utalhat, hogy a rizsjácint allelopátikus anyagai révén versenyelőnybe kerülhet a csírázási és kezdeti megtelepedési szakaszban más fajokkal szemben.

Gyökérzet		Gyökérzet		Levél		Levél		Virágzat		Virágzat		Szár		Szár		Növényi rész	Kezelés	Gyökér/hajtás	P-érték	Hatás		
1g		5g		1g		5g		1g		5g		1g		5g								
H	GY	H	GY	H	GY	H	GY	H	GY	H	GY	GY	H	GY	GY							
0.0008	0.2009	0.0015	0.8187	0.0594	0.0016	0.0015	0.3183	0.0207	0.9117	< 0.0001	0.5201	0.0292	< 0.0001	0.0093	0.0093	növeli	-	növeli	csökkentő	csökkentő	növeli	csökkentő

5. ábra: Mann-Whitney teszt eredményei.

Következtetések

A vizsgálati időszakban (2022–2025) tapasztalt tízszeres állománynövekedés és a folyamatos, folyásirányú expanzió arra enged következtetni, hogy a *Monochoria korsakowii* a Hortobágy-Berettyó vizsgált szakaszán inváziós mértékű terjedést kezd mutatni. A faj

térhódítása szoros összefüggést mutat a területet érő zavarással (pl. szarvasmarha-taposás, szervesanyag-dúsulás) és a változó klimatikus tényezőkkel, amelyek együttesen teremthetnek optimális feltételeket a növénynek. A cönológiai adatok a vegetációstruktúra átalakulását, különösen a degradációt jelző egyéves fajok előretörését jelzik. Természetvédelmi szempontból legkritikusabb a védett tündérfátyol (*Nymphoides peltata*) állományainak veszélyeztetése. A jelentős niche-átfedés, valamint a rizsjácint gyorsabb kezdeti növekedése és laboratóriumban igazolt allelopatikus (gyökernövekedést gátló) potenciálja valószínűsíti a védett faj kiszorulását a sekély, felmelegedő vizes élőhelyekről. A vízkémiai paraméterek és a növényborítás közötti korrelációk egy öngerjesztő folyamat lehetőségét vetik fel. A magasabb kémiai oxigénigény (KOI) és a faj jelenléte közötti pozitív kapcsolat arra utalhat, hogy a növény nemcsak preferálja az eutróf vizeket, hanem nagy tömegű biomasszájának bomlásával maga is hozzájárulhat a trofikus szint fenntartásához. Ezzel párhuzamosan az alacsonyabb nitrátion-koncentrációk a növény jelentős tápanyagfelvevő képességét tükrözik.

Hangsúlyozni kell, hogy a jelen tanulmányban bemutatott eredmények egy kétéves, intenzív vizsgálat sorozaton alapulnak, így azok elsősorban az ökológiai folyamatok aggasztó tendenciáit jelzik. Mivel a *M. korsakowii* terjedése és a *N. peltata* visszaszorulása vélhetően nem egyedi, lokális jelenség, hanem más hazai vízrendszerekben is várható, a folyamatok hosszú távú monitorozása elengedhetetlen a hatékony védekezéshez

Irodalomjegyzék

- BARTHA D. (2012): Kék rizsjácint (*Monochoria korsakowii* Regel et Maack). In: Csiszár Á. (ed.), *Inváziós növényfajok Magyarországon* 316–319.
- BORHIDI A. (1995): Social behaviour types, the naturalness and relative ecological indicator values of the higher plants in the Hungarian Flora. *Acta Botanica Hungarica* 39: 97–181.
- BARTHA D. – MOLNÁR V. A. – PFEIFFER N. (2000): ÚJ ADVENTÍV NÖVÉNY (*MONOCHORIA KORSAKOWII* REGEL ET MAACK) (PONTEDERIACEAE) MAGYARORSZÁGON. *KITAIBELIA* 5 (1): 83–86.
- CSISZÁR Á. – KORDA M. – SCHMIDT D. – ŠPORČIĆ D. – TELEKI B. – TIBORCZ V. – ZAGYVAI G. – BARTHA D. (2012): Néhány inváziós és potenciálisan inváziós neofiton allelopátiás hatásának vizsgálata. *Botanikai Közlemények* 99(1–2): 159–171.
- FAZAKAS B. (2024): Kék rizsjácint – vendégségben? *Természet Világa* 155(5): 239–242.
- FU X. – HE X. (2015): Nitrogen and phosphorus removal from contaminated water by five aquatic plants. In *International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering (MEIC 2015)*. Atlantis Press 1274–1277.
- JOLLIFFE I. T. (2002): *Principal Component Analysis* (2nd ed.). Springer-Verlag, New York, 487 pp.
- KATO-NOGUCHI H. – MORIYASU M. – OHNO O. – SUENAGA K. (2014): Growth limiting effects on various terrestrial plant species by an allelopathic substance, loliolide, from water hyacinth. *Aquatic Botany* 117: 56–61.
- LUKÁCS B. A. – MESTERHÁZY A. – VIDÉKI R. – KIRÁLY G. (2016): Alien aquatic vascular plants in Hungary (Pannonian ecoregion): Historical aspects, data set and trends. *Plant Biosystems* 150(3): 388–395.
- MANN H. B. – WHITNEY D. R. (1947): On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics* 18(1): 50–60.
- PEARSON K. (1900): On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. *Philosophical Magazine* 50(302): 157–175.
- RAUNKIAER C. (1934): *The life forms of plants and statistical plant geography*. Clarendon Press, Oxford, 632 pp.
- SPEARMAN C. (1904): The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology* 15(1): 72–101.
- WANG X. F. – XING W. – HONG WU S. – HUA LIU G. (2009): Allelopathic Effects Of Seed Extracts Of Four Wetland Species On Seed Germination And Seedling Growth Of *Brassica rapa* spp. *pekinensis*, *Oryza rufipogon* and *Monochoria korsakowii*. *Fresenius Environ Bulletin* 18: 1832–1838.

A vízkémiai vizsgálatokhoz használt szabványok:

MSZ 6107-2:1993; MSZ 448/15-82; MSZ 12750/18-74; MSZ 448/18-77; MSZ ISO 7150-1:1992; MSZ 448/21-86; MSZ 12750/21-71; MSZ ISO 6060:1991

Felhasznált szoftverek:

HAMMER Ø. – HARPER D. A. T. – RYAN P. D. (2001): PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 1–9.

GRAPHPAD SOFTWARE (1997). GraphPad InStat (Version 3.00 for Windows 95/NT). San Diego, CA: GraphPad Software, Inc.

QGIS Development Team. (2024). QGIS GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (Version 3.34). Open Source Geospatial Foundation Project.

AZ ÖRÖKERDŐ ÜZEMMÓDÚ ERDŐK ELOSZLÁSA ÉS FŐBB JELLEMZŐI AZ ORSZÁGOS ERDŐÁLLOMÁNY ADATTÁR ALAPJÁN

Distribution and main characteristics of the continuous cover forest based on the National Forest Inventory database

FENYŐSY ANTAL, HORVÁTH TAMÁS

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet
fenyosy.antal@phd.uni-sopron.hu

Kivonat

Hazánkban egyre nagyobb szerepet kap a folyamatos erdőborítást biztosító erdőgazdálkodás. Vizsgálatunk célja az örökerdő üzemmódban kezelt erdőállományok országos eloszlásának és főbb jellemzőinek feltárása volt az Országos Erdőállomány Adattár adatai alapján. Eredményeink szerint az örökerdők térbeli eloszlása erősen egyenlőtlen: néhány erdőtervezési körzetben koncentrálódnak, míg más körzetekben hiányoznak, vagy csak kis területtel vannak jelen. Elemzésünk kiterjedt a tulajdonviszonyokra, az erdők rendeltetésére, természetvédelmi besorolásukra, a termőhelyi adottságokra, valamint a természetességi kategóriákra, amelyek összehasonlítása körzetenként eltérő mintázatokat mutat. Az örökerdők mintegy 90%-a állami tulajdonban található. A főfafajok fényigény szerinti elemzése alapján országos szinten a fényigényes fajokból álló örökerdő-állományok aránya jelentősen meghaladja az árnytűrő fajok által dominált állományokét, ami lényeges szempont az örökerdőmodellek továbbfejlesztése és a fényigényes állományokkal kapcsolatos örökerdő-gazdálkodási tapasztalatok értékelése szempontjából.

Abstract

Forest management practices that ensure continuous forest cover are playing an increasingly important role in Hungary. The aim of our study was to explore the national distribution and main characteristics of forest stands managed under the continuous cover (permanent forest) system, using data from the National Forest Inventory database. Our results show that the spatial distribution of these stands is highly uneven: they are concentrated in a few forest planning districts, whereas in others they are absent or occur only over small areas. Our analysis covered ownership structure, forest function, nature conservation status, site conditions and naturalness categories, the comparison of which revealed different patterns among districts. Approximately 90% of continuous cover forests were designated on state-owned land. Based on an analysis of the main tree species according to their light requirements, the proportion of continuous cover stands dominated by light-demanding species significantly exceeds that of stands dominated by shade-tolerant species at the national level. This is an important consideration for the further development of continuous cover forest models and for the evaluation of continuous cover forest management experiences in stands composed of light-demanding species.

Bevezetés

A jövőben várhatóan egyre nagyobb szerepet kap az örökerdő üzemmód, mivel az ilyen módon kezelt faállományok fajösszetételükben és szerkezetükben lényegesen gazdagabb ökoszisztémát alakítanak ki, mint a vágásos üzemmódban kezelt társaik. Az örökerdők ellenállóbbnak bizonyulnak a globális éghajlatváltozás, valamint a biotikus és abiotikus károsítók hatásaival szemben is (Csór, 2022). Emellett a növekvő társadalmi és környezeti tudatosság szintén ebbe az irányba tereli az erdőgazdálkodás jövőbeli fejlődését.

A magyarországi örökerdők területének változását vizsgálva megállapítható, hogy üzemi méretű gazdálkodás az ezredfordulót követően, a 2000-es évek elején kezdődött meg (Csépanyi, 2018). Az örökerdő üzem módú erdők kiterjedése a 2009-ben 12 100 ha volt, mára megközelíti a 33 900 ha-t (Agrárminisztérium, 2026). A folyamatos erdőborítással kezelt állományok területének bővülése megelőzte azokat a tudományos kutatásokat, amelyek megalapozhatták volna az új szemléletű erdőgazdálkodás ökológiai és gazdasági hátterét, valamint annak hosszú távú hatásait (Bartha, – Puskás, 2012).

A területnövekedés felveti annak kérdését, hogy a már örökerdő üzem módba sorolt faállományok milyen feltételek alapján lettek kijelölve. A tulajdonosi viszonyok, a rendeltetés, a faállomány típus, valamint a védettségi státusz szerinti elemzés rávilágít arra, hogy az erdőgazdálkodók milyen célok és elvek mentén integrálják az örökerdő üzem módot a gyakorlatba. Fényigény szempontjából megkülönböztethetők árnytűrő, közepesen árnytűrő és fénykedvelő fajokból álló örökerdők (Kolozsár, 2010). Ez a besorolás kulcsfontosságú az adott erdőtípushoz leginkább illeszkedő erdőművelési stratégia megválasztásában.

Anyag és módszer

Az Országos Erdőállomány Adattár (a továbbiakban: Adattár) 2025. november 16-i állapota alapján végeztük el az elemzéseket. Az adatokat erdőtervezési körzet szerinti bontásban, kormányhivatali illetékességi területenként, valamint országos szinten is aggregáltuk annak érdekében, hogy egyszerre legyenek értelmezhetők az általános tendenciák és a területspecifikus sajátosságok. Összegzéseket készítettünk az örökerdő üzem módú erdők gazdálkodói, fontosabb termőhelyi, átlagos gazdálkodói területméret, rendeltetés, védettség stb. tekintetében.

Az elegyesség és a részletnagyság alapján (Veperdi, 2008) meghatároztuk, hogy minden örökerdő üzem módú erdő részletben átlagosan hány mintaponton indokolt az állomány szerkezeti adatok felvétele legalább tízéves időközönként annak érdekében, hogy az állományváltozások nyomon követhetők legyenek. Az elegyességre a fafaj sorok száma, illetve a fafajok elegyarányai alapján következtettünk. A vizsgálat során egyesnek tekintettük mindazon állományokat, amelyek legalább négy fafaj sorral rendelkeztek, vagy amelyekben a felső szintben megadott főfafaj elegyaránya legfeljebb 80% volt.

Az erdő részletek fényigény szerinti besorolását szintenként végeztük el. Minden fafajt a fényigényes, közepesen árnytűrő vagy árnytűrő kategóriák egyikébe soroltuk fényigényük alapján (Kolozsár, 2009), és a kategóriákhoz numerikus értéket rendeltünk.

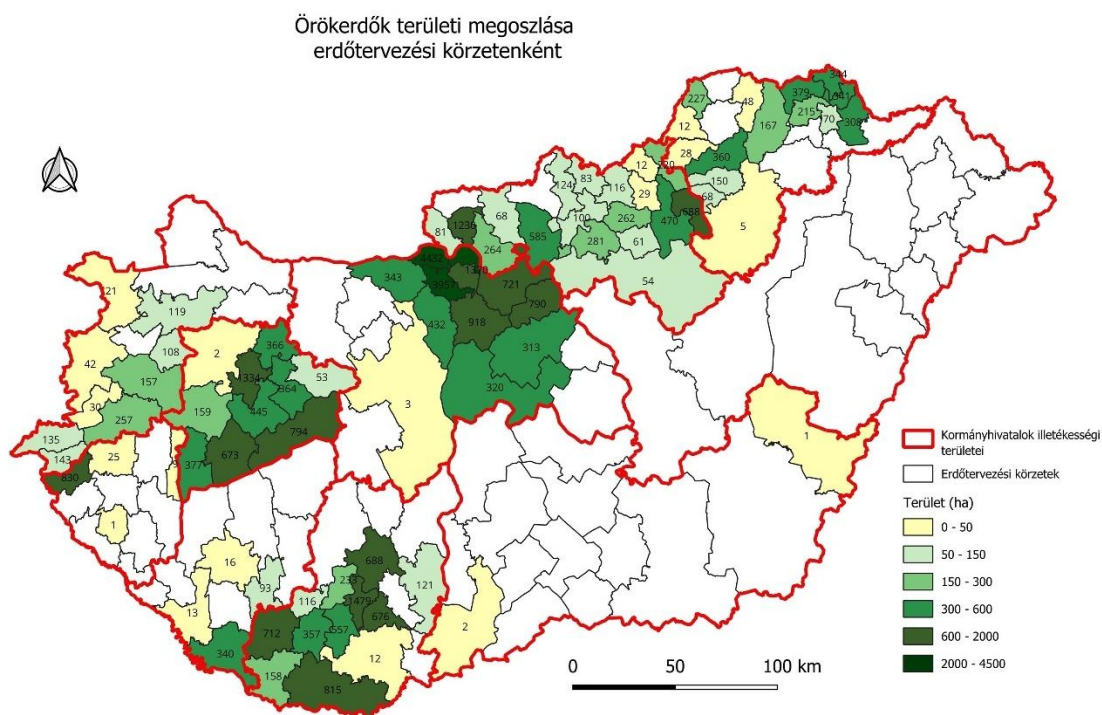
1. táblázat: Fényigény kategóriaértékek fafajok és állományok tekintetében.

	Fafajok fényigénye	Állományok fényigénye
Fényigényes	1	1-1,49
Közepesen árnytűrő	2	1,5-2,49
Árnytűrő	3	2,5-3

Az állományok átlagos fényigényét a fafajonkénti kategóriaértékek és az adott szintben elfoglalt elegyarányok szorzatainak összegével számítottuk, azaz az elegyarányokkal súlyozott kategóriaértékek összegeként határoztuk meg (*1. táblázat*).

Eredmények

Az örökerdők területi megoszlása erdőtervezési körzetek szerinti összesített adatsor alapján markánsan heterogén. A legnagyobb kiterjedésű örökerdő-területek a domb- és hegyvidéki tájakhoz kötődnek, míg a síkvidéki térségekben előfordulásuk csekély vagy teljes mértékben hiányzik, vagy nincs. A legmagasabb értékek a Pilismaróti (4432 ha) és a Pilisi–Visegrádi (3957 ha) erdőtervezési körzetekben jelentkeznek, ami a Dunakanyar–Pilis térség kiemelt jelentőségére utal az örökerdő-gazdálkodás szempontjából. Szintén számottevő területek azonosíthatók a Kárászi (1479 ha), a Szentendrei (1370 ha) és a Farkasgyepői (1334 ha) körzetekben. A közepes nagyságrendű (jellemzően 300–800 ha közötti) örökerdő területek a Balaton-felvidék, a Bakony, valamint az Északi-középhegység egyes erdőtervezési körzeteiben jelennek meg, mozaikos mintázatot eredményezve.



1. ábra: Örökerdők magyarországi elhelyezkedése és területnagysága.

A Dél-Dunántúlon (Mecsek–Zselic térség) az örökerdők jellemzően kisebb kiterjedésű területen fordulnak elő. Ezzel szemben az Alföldön és a délkeleti országrészekben csak néhány körzetben jelennek meg, többnyire csupán néhány hektáros területtel (1. ábra). Az örökerdő üzemmódú erdők erdészeti hatóságok illetékessége szerinti csoportosítása alapján az eloszlás erősen koncentrált. Négy Vármegyei Kormányhivatal illetékességi területén található az országos örökerdő-terület 85,1%-a, ezen belül pedig Pest vármegye részesedése önmagában 40,1% (2. táblázat). Az örökerdő-gazdálkodás szakmai és jogszabályi ellenőrzése magas szintű szakmai felkészültséget igényel a hatóságok részéről is, mind a terepi tapasztalatok, mind a tervezési gyakorlat tekintetében.

2. táblázat: Örökerdők területösszege ha-ban illetékességi területenként és ezek aránya.

Erdészeti hatóság	Örökerdő	Területarány
Pest Vármegyei Kormányhivatal	13600,32	40,1%
Baranya Vármegyei Kormányhivatal	5924,45	17,5%
Heves Vármegyei Kormányhivatal	4728,72	14,0%
Veszprém Vármegyei Kormányhivatal	4566,15	13,5%
Borsod-Abaúj-Zemplén Vármegyei Kormányhivatal	2724,09	8,0%
Vas Vármegyei Kormányhivatal	1012,27	3,0%
Zala Vármegyei Kormányhivatal	865,09	2,6%
Somogy Vármegyei Kormányhivatal	462,94	1,4%
Bács-Kiskun Vármegyei Kormányhivatal	2,63	0,0%

A termőhelyi viszonyokat országos léptékben, a klíma, a hidrológiai kategória és a talajfőtypus alapján értékeltük (3. táblázat). Az örökerdők területe elsősorban a gyertyános–tölgyes (GYT) klímában koncentrálódik (49,6%), ezt követi a bükkös (B) klíma (28,6%) és a zárt tölgyes (KTT,CS) klíma (19,0%). Ezzel szemben az erdősztyepp (ESZTY) klímához tartozó örökerdő-területek részaránya alacsony (2,8%). Hidrológiai szempontból az örökerdő-termőhelyek döntő hányada többletvízhatástól független (több mint 92%). A talajfőtypusok megoszlása alapján a barna erdőtalajok dominálnak (61,9%), míg a közethatású erdőtalajok szintén jelentős hányadot képviselnek (30,2%).

3. táblázat: Örökerdők országos területmegoszlása ha-ban termőhelyi viszonyok alapján.

Terület	BE	CS	KHT	LAP	LHÖ	MEST	MOAE	R	VAZ	Összesen:
B klíma	6273,95		3329,82		5,49		20,27		58,37	9687,90
IDÖSZ							9,16			9,16
SZIV	218,10		77,79		3,72		6,82			306,43
TVFLEN	6041,93		3252,03		1,77		4,29		58,37	9358,39
VALT	13,92									13,92
GYT klíma	11020,82		4502,13		201,48		938,61	52,08	89,51	16804,63
ALLV					19,60		92,67	7,92		120,19
IDÖSZ	14,35				133,09		717,74	41,35		906,53
SZIV	117,56				8,77		43,80	2,81		172,94
TVFLEN	10736,62		4489,88		40,02		84,40		89,51	15440,43
VALT	152,29		12,25							164,54
KTT,CS klíma	3693,15		2384,73		6,09		154,33	0,44	203,71	6442,45
ALLV							152,30			152,30
IDÖSZ	32,82				2,76		2,03	0,44		38,05
SZIV	16,38		1,16							17,54
TVFLEN	3642,04		2344,26		3,33				203,71	6193,34
VALT	1,91		39,31							41,22
ESZTY klíma		31,82		253,54	138,33	2,71	167,07	113,71	244,50	951,68
ALLV				192,29	3,17		34,82	31,20		261,48
FELSZ								35,81		35,81
IDÖSZ		19,15		61,25	135,16		124,23	42,43		382,22
TVFLEN		12,67				2,71		4,27	244,50	264,15
VALT							8,02			8,02
Összesen:	20987,92	31,82	10216,68	253,54	349,40	2,71	1280,28	166,23	596,09	33886,66

Erdőgazdálkodói és tulajdonviszonyok alapján az örökerdők döntő hányada állami tulajdonban található (87,7%), míg a magántulajdon aránya 11,2%; a vegyes tulajdon részaránya 1,1%. Közösségi tulajdonban lévő örökerdők kiterjedése a vizsgált adatok alapján elhanyagolható. A területi koncentrációt jelzi, hogy a tíz legnagyobb örökerdő-gazdálkodó valamennyi esetben állami tulajdonú, és együttesen az országos örökerdő-terület mintegy 77%-át kezeli. Az erdőgazdálkodónkénti tulajdonviszonyok és az örökerdők kiterjedésének elemzése alapján megállapítható, hogy az állami erdőgazdálkodók átlagosan lényegesen nagyobb örökerdő-területet kezelnek, mint a nem állami gazdálkodók (4. táblázat).

2. táblázat: Erdőgazdálkodók örökerdő-birtoknagyságának jellemzői ha-ban.

Terület	Állami	Magán
Átlag	425,54	30,13
Szórás	704,68	51,87
Medián	161,65	10,97
Összesen:	30213,53	3495,23

A bejegyzett erdőgazdálkodók száma az egyes körzetekben nagyobb változatosságot mutat, ami szintén hatással lehet az örökerdő üzem mód bevezetésére: a több erdőgazdálkodóval bíró körzetek elsősorban a Dunántúl nyugati–délnyugati térségeiben, valamint az Északi-középhegységben klasztereződnek. A körzetek többsége az kevés, 1-3 és közepes 3-6 örökerdőben erdőgazdálkodó található, ugyanakkor néhány dunántúli körzetben 10–21 gazdálkodó is megjelenik (Szentgyörgyvölgyi és Balatonfüredi erdőtervezési körzetek).

Az örökerdők elsődleges rendeltetése döntően természetvédelmi (5. táblázat). További rendeltetések között a Natura 2000 rendeltetést találjuk legtöbb esetben (61,8%).

3. táblázat: Örökerdők rendeltetés szerinti megoszlása ha-ban országos szinten.

Rendeltetések	Elsődleges	További (2)	További (3)
Árvízvédelmi	10,39	32,22	15,5
Erdészeti génrezervátum		51,14	17,55
Faanyagtermelő	3245,46	2106,55	25,53
Honvédelmi	880,89	39,76	
Kísérleti	46,62	34,41	2,17
Natura 2000	2885,81	20925,03	5505,23
Örökségvédelmi		22,71	
Parkerdő	669,48	2006,95	1156,89
Part-vagy töltésvédelmi		4,88	
Szaporítóanyag-termelő	12,55	2,8	
Tájképvédelmi	1,03	13,69	
Talajvédelmi	1448,69	4677,34	1521,4
Tanerdő	37,45	2,17	
Településvédelmi	46,91	4,72	13,98
Természetvédelmi	24543,61	61,28	
Vadaskert	52,12	59,13	13,49
Mezővédő	5,65		
Összesen:	33886,66	30044,78	8271,74

Az örökerdők 22%-a fokozottan védett területen található, míg az ország örökerdő-területének mindössze 11%-át nem érinti sem természetvédelmi védettség, sem Natura 2000

kijelölés (6. táblázat). Közel azonos a természet szerű (48%) és származék erdők (49%) aránya. A többi természetességi kategória kis aránnyal van csak képviselve.

6. táblázat: Természetvédelmi védettség és a természetesség megoszlása országos szinten.

Terület (ha)	Természetes erdő	Természet szerű erdő	Származék erdő	Átmeneti erdő	Kultúrerdő	Összesen:
Fokozottan védett	50,54	3544,64	3620,23	92,35	21,82	7329,58
Nem érinti		29,3	19,22			48,52
Natura 2000 érinti	50,54	3515,34	3601,01	92,35	21,82	7281,06
Védett	9,18	8508,88	8330,56	191,86	234,83	17275,31
Nem érinti		134,11	535,39	29,5	60,89	759,89
Natura 2000 érinti	9,18	8374,77	7795,17	162,36	173,94	16515,42
Nem védett		4258,52	4578,92	260,92	183,41	9281,77
Nem érinti		1264,68	2244,33	150,61	102,56	3762,18
Natura 2000 érinti		2993,84	2334,59	110,31	80,85	5519,59
Összesen	59,72	16312,04	16529,71	545,13	440,06	33886,66

7. táblázat: Örök erdők faállomány típusainak megoszlása ha-ban a felső szint fényigénye szerint országos szinten.

Faállomány típus	Fényigényes	Közepesen árnytűró	Árnytűró	Összesen
Bükkös		3536,97	5532,48	9069,45
Kocsánytalan tölgyes	6168,09	5361,35	48,02	11577,46
Kocsányos tölgyes	1700,5	388,62	43,98	2133,1
Cseres	4322,89	798,66		5121,55
Molyhos tölgyes	242,82			242,82
Akác	120,41	17,93		138,34
Kőris	483,77	58,77		542,54
Víztűró egyéb lágy lombos	195,28	19,62	13,38	228,28
Hazai nyáras	172,51	12,41		184,92
Idegenhonos egyéb kemény lombos	59,94	8,44		68,38
Egyéb kemény lombos	558,35	1293,69	477,43	2329,47
Egyéb lágy lombos	118,21	1279,68	1,08	1398,97
Erdeifenyves	480,86	212,46		693,32
Feketefenyves	128,51	17,85		146,36
Egyéb fenyves	1,26	1,09	9,35	11,7
Összesen:	14753,4	13007,54	6125,72	33886,66

Az örök erdő üzemmódban kezelt erdő részletek felső szintjének fényigény szerinti fafajösszetétel-vizsgálata szerint (7. táblázat) a fényigényes állományok a teljes terület 44%-át, a közepesen árnytűró állományok 38%-át képviselik, míg az árnytűró állományok részaránya 18%. Az örök erdő állományok területének 78,8%-án nincs alsó szint leírva. Alsó és felső szintben található fafajok fényigénye hasonló megoszlást mutat (8. táblázat).

A fafajösszetétel alapján a kocsánytalan tölgyesek dominálnak (34%), ezt a bükkösök követik (27%), míg a cseresek aránya 15%, a hazai egyéb kemény lomb állományoké 7%, a kocsányos tölgyeseké pedig 6%.

4. táblázat: Örökerdők felső és alsó szintjének megoszlása fényigény szerint ha-ban.

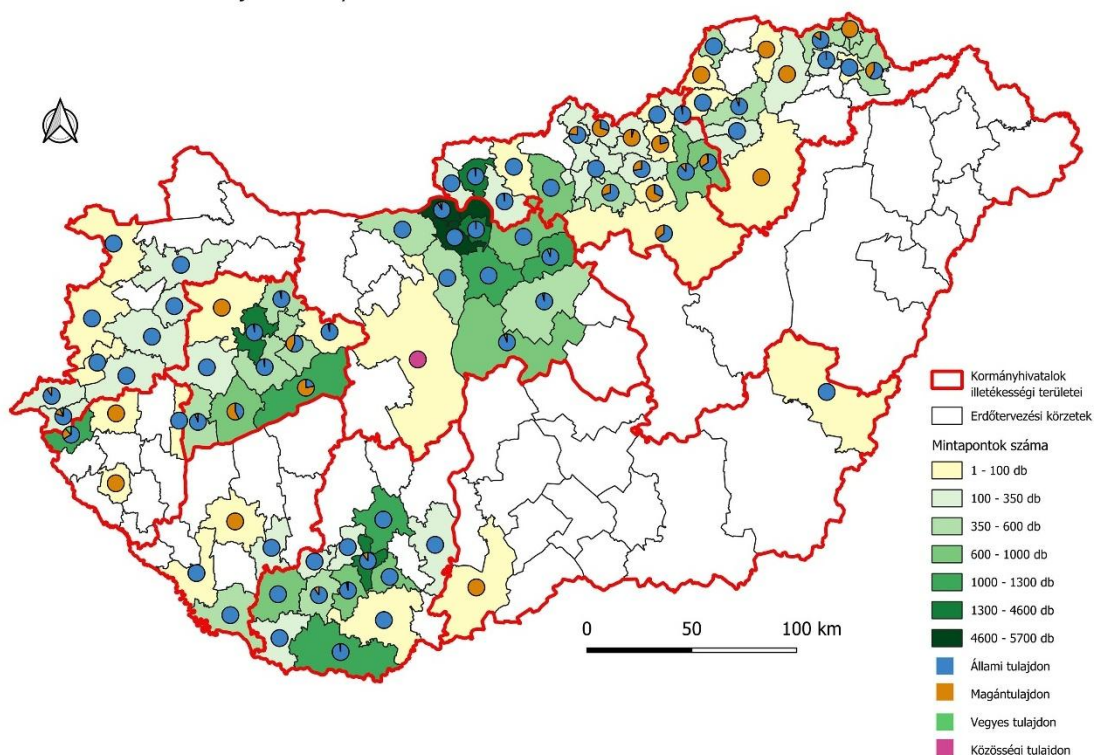
Alsószint	Felsőszint			
	Fényigényes	Közepesen árnytűrő	Árnytűrő	Összesen:
Hiányzik	11059,08	10947,01	4699,31	26705,4
Fényigényes	1573,21	167,63	35,49	1776,33
Közepesen árnytűrő	958,56	296,68	104,81	1360,05
Árnytűrő	1162,55	1596,22	1286,11	4044,88
Összesen:	14753,4	13007,54	6125,72	33886,66

Az állományfelvételi mintapontok számát erdőgazdálkodónként és erdőtervezési körzetenként is meghatároztuk annak érdekében, hogy az örökerdő üzemmódú erdők a közeljövőben milyen mértékű terepi munkával monitorozható, ellenőrizhető. Az eredmények igazolták a várakozásainkat: a nagy kiterjedésű örökerdő-területtel rendelkező erdőgazdálkodók esetében a növedékellenőrzés mintavételi igénye kiemelkedő.

A legnagyobb örökerdő-területtel a Pilisi Parkerdő Zrt. rendelkezik; visszatérési időnként nagyságrendileg mintegy 15 300 mintapont felvétele szükséges a megfelelő állományfelvételezéseikhez önellenőrzés szempontjából. A következő legnagyobb területtel rendelkező gazdálkodó esetében ez mintapontszám megközelítőleg 7 000, míg a következő legnagyobb örökerdőterülettel rendelkező erdőgazdálkodónál rendre mintegy 3 000, 2 600, illetve 1 600 mintapont.

Az állományfelvételi mintapontok körzetszintű eloszlása erősen egyenlőtlen: a mintavétel néhány erdőtervezési körzetben koncentrálódik, míg sok körzetben csak szórványosan jelennek meg. A legnagyobb mintapontszám a Pilis–Visegrád–Szentendre térség körzeteiben figyelhető meg, emellett több dunántúli és Észak-középhegységi körzet is jelentősebb mintapontszámmal szerepel (2. ábra).

Az örökerdő részletekben meghatározott felvételi mintapontok száma és a tulajdonviszonyok erdőtervezési körzetenként



2. ábra: Mintapontok száma és tulajdonviszonyok erdőtervezési körzetenként

Következtetések

Az Országos Erdőállomány Adattár alapján az örökerdő üzemmódú erdők magyarországi eloszlása markánsan koncentrált, elsősorban domb- és hegyvidéki körzetekhez kötődik, és néhány hatósági illetékességi területen összpontosul, ami a hatóság tervezési, ellenőrzési feladatait egyenlőtlenül érinti. Az örökerdők túlnyomó része állami tulajdonban és jelentős részben természetvédelmi/Natura 2000 területen lett kijelölve, miközben a természetességi kategóriákban országos szinten a természetserű és származék állományok dominanciája figyelhető meg. A már kijelölt örökerdő üzemmódú állományok jellemzően egyszintesek, még nem mutatnak az örökerdőkre jellemző sokszintes állományszerkezetet az Adattárban tárolt adatok alapján. Célszerű fontolóra venni egy, az örökerdő üzemmód informatívabb nyilvántartásának (átmérőosztályonkénti törzsszámgyakoriság) bevezetését.

A termőhelyi viszonyok értékelése alapján az örökerdők területe főként a gyertyános-tölgyes és bükkös klímához kötődik. Hidrológiai szempontból a termőhelyek túlnyomó része többletvízhatástól független, talajtípus szempontjából pedig a barna erdőtalajok dominálnak, de jelentős arányban található közethatású erdőtalajon is örökerdőket. A faállománytípusok és a fényigény szerinti megoszlás országos szinten a fényigényes és közepesen árnytűrő állományok túlsúlyát jelzi, míg az árnytűrő állományok kisebb részarányt képviselnek; a legjellemzőbb faállománytípusok a kocsánytalan tölgyesek és a bükkösök, amelyeket a cseresek követnek. Az örökerdő állományok fényigény szerinti mintázata arra utal, hogy az örökerdő-gyakorlat fejlesztésében és értékelésében kiemelt szerepet kell kapnia a fényigényes, illetve közepesen árnytűrő állományokra adaptált erdőművelési megoldásoknak. Végül a nagy területen örökerdőt kezelő erdőgazdálkodók esetében a becsült állománybecslési mintavételi igény nagyságrendje a növedékellenőrzés szervezési és erőforrás-tervezési

jelentőségét hangsúlyozza, és alátámasztja egy egységes, országosan összehangolt monitoring-protokoll szükségességét.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük az Agrárminisztérium Erdőrendezési Főosztályának, hogy rendelkezésünkre bocsátotta az örökerdő üzemmódú erdőrészek részletszintű adatait.

Melléklet:

5. táblázat: Kódjegyzék.

Kód	Megfeleltetés
BE	Barna erdőtalajok
CS	Csernozjom talajok
KHT	Közethatású talajok
LAP	Láptalajok
LHŐ	Lejtőhordalék- és öntéstalajok
MEST	Mesterséges talajképződmények
MOAE	Mocsári és ártéri erdőtalajok
R	Réti talajok
VAZ	Váztalajok
TVFLEN	Többletvízhatástól független hidrológia
VALT	Változó vízellátású hidrológia
SZIV	Szivárgóvízű hidrológia
IDŐSZ	Időszakos vízhatású hidrológia
ALLV	Állandó vízhatású hidrológia
FELSZ	Felszínig nedves hidrológia
VIZB	Vízzel borított hidrológia

Irodalomjegyzék

- AGRÁRMINISZTERIUM (2026): Erővagyon- és erdőgazdálkodás Magyarországon. Agrárminisztérium Erdőrendezési Főosztály, online: https://foldalap.am.gov.hu/Magyarorszag_erdeivel_kapcsolatos_adatok_news_513
- BARTHA D. – PUSKÁS L. (2012): A folyamatos erdőborítás kutatása hazánkban. Erdészeti Lapok (147) 12. sz. 375. p.
- CSÉPÁNYI P. (2018): Örökerdő-gazdálkodás ökonómiai sajátosságai bükkösökben és cseresekben a Pilisi Parkerdő Zrt.-nél. Doktori értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem.
- KOLOSZÁR J. (2009): Erdőismerettan. Oktatási segédanyag. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron. 51–53. p.
- CSÓR A. (2022): 100 éves az örökerdő eszme Erdészeti lapok, 2022. (157) 4. sz. 130-132.
- KOLOSZÁR J. (2010): Utak és tévutak – avagy gondolatok az átalakító és a szálaló üzemmódról. Erdőkerülő, SEFAG. Erdészeti és Faipari Zrt. 37(4): 4–5. p.
- VEPERDI G. (2008): Erdőbecsléstan. Oktatási segédanyag. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Matematikai és Ökonómiai Intézet, Erdőrendezéstani Tanszék, Sopron. 109. p.

A TANULMÁNYI ERDŐGAZDASÁG KUTATÁS-FEJLESZTÉSI TEVÉKENY - SÉGÉNEK EREDMÉNYEI 75 ÉV TÁVLATÁBÓL

Results of the Research and Development Activities of Tanulmányi Erdőgazdaság
from a 75-Year Perspective

FOLCZ ÁDÁM¹, SÁNDOR GYULA^{1,2}

¹TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt.

²Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar,
folcz.adam@taegr.hu

Kivonat

A Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. alapításának 75. évfordulója alkalmából társaságunk áttekintést készített azon kutatásokról, amelyek megvalósításában közreműködött, és amelyek eredményei meghatározó jelentőséggel bírnak a hazai erdőgazdálkodás gyakorlatában. A történeti kitekintés mellett feldolgozásra kerültek az elmúlt öt év azon kutatásai is, amelyekbe a társaság különböző szinteken és szerepvállalásban bekapcsolódott. A bemutatott projektek közül kiemelésre kerültek azok, amelyek eredményei közvetlenül hasznosulnak a jelenlegi gazdálkodási gyakorlatban, és iránymutatásként szolgálhatnak más erdőgazdálkodók számára is. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a társaság nélkülözhetetlen szerepet játszik a gyakorlatorientált kutatásokban, és gyakorlati tapasztalataival hozzájárul a kutatások eredményességéhez. Mind a négy karral és az ERTI-vel is aktív kapcsolatot tart fenn. E mellett küldetésével összhangban elősegíti a tudományos eredmények gyakorlati alkalmazását és szakmai népszerűsítését is.

Abstract

On the occasion of the 75th anniversary of the establishment of Study Forestry PLC (Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt.), the company prepared an overview of the research activities in which it has participated and whose results have had a significant impact on forestry practice in Hungary. In addition to providing a historical perspective, research projects conducted over the past five years were also reviewed, in which the company was involved at various levels and in different capacities. Particular emphasis was placed on projects whose outcomes are directly applicable to current forest management practices and may serve as guidance for other forest managers. Based on the results, it can be concluded that the company plays an indispensable role in practice-oriented research, and through its practical experience contributes to the effectiveness of the research. It maintains active cooperation with all four faculties as well as with ERTI. In addition, in line with its mission, it also promotes the practical application and professional dissemination of scientific results.

Bevezetés

A gyakorlati oktatás infrastrukturális és szakmai feltételeinek biztosítása mellett a TAEG Zrt. kiemelt feladatának és intézményi küldetésének tekinti a szakmai kutatási és fejlesztési tevékenységek befogadását, valamint az azokban való aktív részvételt. E szerepkör már a társaság megalapításával egy időben megjelent (OBERMAYER, 1985), és napjainkban, a Soproni Egyetemért Alapítvány tulajdonosi joggyakorlása alatt ismét hangsúlyossá vált.

A kutatási és fejlesztési tevékenységek két fő irány mentén szerveződnek. Az egyik irányban a társaság alapvető feladata, hogy a Soproni Egyetem – beleértve az Erdészeti Tudományos Intézetet is – számára kutatási területeket és alapadatokat biztosítson. Az adatok rendelkezésre bocsátása mellett a társaság gyakorlati tapasztalataival hozzájárul az elméleti kutatások

gyakorlati alkalmazhatóságának erősítéséhez, valamint saját, valós gazdálkodási körülményei között segíti az eredmények értékelését.

A másik fő irányt a társaság saját, illetve ágazati szintű problémafelvetéseihez kapcsolódó kutatási témák kezdeményezése, valamint önálló kutatási és fejlesztési tevékenységek végrehajtása jelenti. Oktatási küldetéséből fakadóan a társaság kiemelt szerepet vállal a hallgatói szakdolgozatok elkészítésének szakmai támogatásában és a kutatási területek biztosításában. E körben különösen jelentősek a doktori disszertációk elkészítéséhez és megvédéséhez szükséges területi és kutatási feltételek, amelyek közül társaságunk kiemelkedően nagy számú kísérlet számára biztosít helyszínt és gyakorlati szakmai háttérrel.

A társaság alapítását követően néhány évvel, Béky Albert munkássága nyomán olyan kiadvány jelent meg, amely részletes áttekintést nyújt a társaság területén, illetve közreműködésével megvalósult kutatásokról (1. táblázat).

6. táblázat: *Kísérletek És Kutatási Témák Az Erdőgazdaság Területén (BÉKY, 1958)*

Helye (akkor)	Ideje	Kutató	Kutatás
Sopron 179,180,181, 182 tag	1930-tól	Roth Gyula, Egyetem	Átalakító (szálalási) kísérlet, 1930-as évektől.
Ágfalva 1 tag	1952-től	ERTI	Gyertyános rontotterdő átalakítás, KTT és EF, B és JF fajokkal.
Síkvidéki Erdészet	1953-tól	TAEG	Síkvidéken talajművelés és a vízgazdálkodás javítása.
Röjtökmuzsaji Erdészet	1957-től	Bencze Pál, ERTI	Cseri talajok tápanyaggazdálkodásának javítása különböző adalékokkal.
Csemetekert	???	Bokor Rezső, ERTI	Mykorrhiza oltóanyag kísérletek - Üzemei léptékben 16 közismert fafaj.
Sopron 86 b és c, 87 b	???	Magyar János, Egyetem	Erdőrendezéstani kutatások, felmérések.
Több helyen Sopron könyékén	1956-tól	Egyetem	Talaj és mikroklíma vizsgálatok, sűrű területen meteorológiai állomások.
Sopron 98 c, 84 b és c	1954-től	Tuskó László, Technikum	Vörösfenyő fajta és növekedés vizsgálatok.
Várisi erdőszlak, Kovácsároki csemetekert	???	Mátyás Vilmos, ERTI	Tölgymakk- és fenyőmagtermelés vizsgálat a tervszerű maggazdálkodás érdekében.
Sopron 67 a, Szárhalom	1958-tól	Erdőtelepítési tanszék	Cserjés átalakítása különböző módokon és fafajokkal (NH, MOT, KTT, EF, FF).
Sopron 84 d Daloshegy	1955	Erdőtelepítési tanszék	Vörösfenyő magtermés vizsgálatok.
Sopron 82 b Daloshegy	1955	Erdőtelepítési tanszék	Erdeifenyő magtermés vizsgálatok.
Fűrésztelep és Farktár	1954	Lámfalussy Sándor, Erdőhasználati tanszék,	Választékok és fagyártmányfák beszáradási vizsgálata (EF, T, A, etc..).

Terv Út	???	Erdőfeltárás tanszék	Út állékonysági megfigyelések. A terv út első szakaszának vizsgálata.
Több helyen		MTA- Talajbiológiai laboratórium	Talajtani vizsgálatok.
Sopron 59/a	1952	Erdőművelés tanszék	Cserjésedet erdőrészeslet 2-3 m széles pásztás felújítása.
Sopron 62/a	1957	Erdőművelés tanszék	Cserjés átalakítás 4 méteres pászták, árnyaló cserjékkel, fafajok növekedésének vizsgálata.
Sopron környéki erdészet	1956	TAEG	Vándor csemetekert hárs csemete termesztésre.
Fűrészüzem	1958?	Egyetem	Termelés technológiai fejlesztések.
Soproni Hegyvidék	1958?	Firbás Oszkár, Technikum	Vízgazdálkodási és vízhozam mérések a hegyvidéken.
bánfalvi temetőtől, a Daloshegyig húzódó tömb (314 ha)	1958?	ERTI-TAEG	Átalakító (szálalási) kísérlet 314 ha-on.

Anyag és módszer

Jelen tanulmány áttekintő jellegű munka, amely összefoglalja, rendszerezi és újraértelmezi a TAEG Zrt. közreműködésével, illetve saját kezelésében megvalósult kutatásokat, kiemelt hangsúlyt helyezve az erdészeti kutatásokra. A dolgozat röviden bemutatja, hogy a társaság alapításakor milyen kiindulási helyzetből indult, valamint jelenleg hol tart a kutatások szakmai támogatása és végzése terén. A hagyományos kutatási témák mellett a társaság elkötelezett az innovatív kutatási irányok támogatása iránt is.

E szemlélet jelentőségét jól tükrözi egykori vezérigazgatónk, OBERMAYER GYÖRGYNEK 1985-ben megfogalmazott gondolata, amely napjainkban is aktuális: „Az oktatási cél megvalósítása szükségszerűvé teszi a törekvést nemcsak az elmélet és a gyakorlat, de az oktatás és a kutatás egységének megteremtésére is. Erdőgazdaságunk, a Sopron Környéki erdők – részben vagy teljesen – 63 év óta szolgálják termelői tevékenységük mellett az erdészeti szakoktatást, kutatást.”

A társaság 2020-ban új tulajdonosi struktúrába került annak érdekében, hogy a Soproni Egyetem oktatási és kutatási tevékenységének támogatása még szorosabbá és szervezettebbé váljon. Ennek a szemléletnek a megnyilvánításaként a tanulmány rövid áttekintést ad arról, hogy az elmúlt öt év során milyen tevékenységekkel járult hozzá a társaság az ágazat fejlődéséhez. Bemutatásra kerülnek a jelenleg futó projektek, az elmúlt években megvalósított legjelentősebb kutatások, valamint a társaság munkatársainak közreműködésével megjelent tudományos publikációk.

Eredmények

Társaságunk területén számos rövidebb és hosszabb időtartamú kutatás folyt és folyik jelenleg is, amelyek eredményei nemzetközi szinten is megjelennek. Ezek közül kiemelkednek a hosszú távú tartamkísérletek, amelyek tervezett időhorizontja az erdők léptékében mérhető, és jelentőségük az erdészeti kutatások körében kiemelten magas.

Társaságunk nyilvántartása alapján jelenleg több száz kutatás zajlott, illetve zajlik a kezelésben álló területeken, amelyek közül több mint száz kutatás eredményei lennének

bemutathatók az elmúlt 75 év távlatában. E vizsgálatok eredményei a gyakorlati erdőgazdálkodás számára is közvetlenül hasznosíthatók. Egy ilyen terjedelmű tanulmány keretei azonban nem teszik lehetővé ezen kutatások teljes körű ismertetését. Ezért a 2. táblázatban az elmúlt öt évben megkezdődött kutatási projektjeink számának összefoglalását tartalmazza, melyek kapcsán társaságunk valamilyen mértékben szerepet vállalt. A legjelentősebb kutatási területek közül néhányat részletesebben is bemutatunk, törekedve az eredmények szélesebb körű megismertetésére, valamint arra, hogy példát mutassunk a tudományos eredmények gyakorlati hasznosítására más gazdálkodók számára is.

2. táblázat: A TAEG Zrt. kutatási szerepvállalása 2021-2025 között

Szakterület	Státusz			
	Függőben	Folyamatos	Lezárult	Összesen
Digitalizáció-Robotizáció-Geomatika	2	2	1	5
Erdőhasználat		1		1
Erdőnevelési kísérlet		1		1
Erdőrendezés- Fatermésztan			2	2
Erdősítés		2		2
Erdővédelem-monitoring		1	1	2
Fafajösszehasonlító származási kísérlet		6		6
Faipar		3		3
Klímaváltozás		7		7
Meteorológia		3		3
Ökoturisztika-Társadalmasítás		1		1
Szaporítóanyag termesztés		2		2
Talajtan		1		1
Vadgazdálkodás		3		3
Vízgazdálkodás		3		3
Biomonitoring		2		2
Összesen	2	38	4	44

A táblázat alapján megállapítható, hogy a társaság az erdőgazdálkodás valamennyi alágazatában támogat kutatási tevékenységeket, illetve saját kísérleteket és fejlesztéseket is folytat, összesen 44 projekt keretében, melyek kezdése 2021-től számoljuk.

A fenti táblázatban nem szerepel, adatgyűjtésünk szerint további 36 folyamatban lévő olyan kutatás mely az elmúlt 5 évnél régebben kezdődött és napjainkban is fennál. Örökségünk fenntartásának részeként a társaság továbbra is gondozza, valamint a Soproni Egyetem mindenkor Erdőművelési Tanszékének bevonásával kezeli a közel 100 éves Roth-féle szálaló-erdőt, amely Magyarország első, részben vagy teljes mértékben folyamatos bükkös szálalási kísérleteként tartandó számon.

Szintén jelentősnek tekinthetők az Ágfalva 6-os tagban, valamint a Nagylózs 5-ös tagban található hosszú távú fafaj-összehasonlító kísérleti területek. Ezek a több évtizedes múltra visszatekintő kísérletek nélkülözhetetlen alapot jelenthetnek a jövő erdőgazdálkodási kérdéseinek megválaszolásában, mivel olyan fafajcsoportokra irányulnak, mint a duglászfenyő, az ostorfa, a kései meggy, a vöröstölgy és egyéb fajok, amelyek a klímaváltozás következtében napjainkban ismét előtérbe kerültek.

Az újabb kutatások közül kiemelendők a Várisi átalakító tömbben (Sopron 79–85-ös tagok) létrehozott lékes felújítások, amelyek immár több mint húszévesek, és időben egybeesnek az Ipolyerdő Zrt. területén kialakított átalakító tömbökkel (KOVÁCS et al., 2013). E területen valójában az 1958-ban megkezdett átalakítási kísérletek folytatása zajlik, vegyes szakmai eredményekkel.

Társaságunk területén került először kísérletbe vonásra 2012-ben a szajkók által széthordott makkból eredő, természetes erdőfelújítási megoldás kialakítása, ami mára már a KAP pályázatokban támogatott tevékenységként jelenik meg, és amelyet társaságunk a mai napig üzemi szinten alkalmaz a kiritkult, vagy pusztulóban lévő fenyvesek természetes felújítására.

Napjaink egyik legfontosabb szakmai területe az erdészeti célú klímakutatás. Kiemelt jelentőséggel bírnak a társaság területén több évtizede működő, klíma- és vízgazdálkodási kutatásokat szolgáló kísérleti helyszínek, így például a Sopron 171/G erdőrészletben található mikroklíma-állomás, valamint a Hidegvízvölgyben (Vadkan-árokban), a Rák-patakon kialakított vízhozammérők és az ezekhez kapcsolódó vízügyi kutatóállomás. E helyszíneken több évtizedes, folyamatos adatgyűjtés zajlik (GRIBOVSZKI et al., 2019).

A közelmúltban a TAEG Zrt. helyszínt és adatokat biztosított a Border-Eye projekt számára, amely jelentős szakmai érdeklődést váltott ki. A projekt keretében hőkamerás felvételek tesztelése zajlott, beleértve az erdei műtárgyak, épületek és a vadállomány felmérését is. A projekt egyúttal az erdőtüzek elleni védekezés egyik fontos kutatás-fejlesztési alapját is képezheti. A társaság stratégiai partnerként részt vesz egy Interreg pályázat keretében megvalósuló projektben is, amely a harkai és burgenlandi tűzoltóságok közös kezdeményezésére, valamint a határ menti térségek, különös tekintettel az erdők, tűzvédelmi fejlesztésére irányul.

A társaság szintén helyszínt biztosít és adatokat szolgáltat a SoilSens projekt számára, amely a termőhely-feltárás és annak térképi fejlesztését célozza. A projekt keretében a Soproni Egyetem munkatársai talajvizsgálatokat és meteorológiai méréseket végeznek a Dudlesz-erdő területén. A társaság adatokkal, faanyagmintákkal, terepi támogatással és gyakorlati tapasztalatainak megosztásával járul hozzá a projekt sikeréhez, miközben maga is jelentős új ismeretekkel gazdagodik.

A klímaváltozás hatásait és a szénmegkötés kérdését vizsgáló további jelentős kezdeményezés az *„Interreg – Természetes és mesterséges szénelnyelők elemzése és felhasználása a klímasemlegességhez való hozzájárulásként a magyar–osztrák határrégióban”* című nemzetközi projekt, amelyhez a társaság stratégiai partnerként és aktív közreműködőként csatlakozott. Területet biztosítunk a szénmegkötési vizsgálatokhoz, csemetéket és csemetekerti adatokat szolgáltatunk, valamint további gyakorlati támogatást nyújtunk.

A TAEG Zrt. együttműködő partnerként vesz részt a TKP-projekt *„Az erdészeti és faágazat szerepének növelése az éghajlatváltozás mérséklésében”* című programjában is. E projekt keretében vizsgálat alá került a szaporítóanyag-termelés szénlábnyoma, továbbá megkezdődött a társaság szervezeti szintű szénlábnyomának meghatározása is. A projekt keretei között a Faipari Mérnöki és Kreatívipari Karnak faanyag vizsgálati célokra adtunk át gyertyán és cser fafajok különböző feldolgozottságú faanyagát. A projekten túl a Karral közösen

dolgozunk olyan fafajok jövőbeni alkalmazási lehetőségeinek feltárásán, amiket eddig az ipar nem használt. A kutatások hosszú távú támogatása érdekében a társaság vákuumszárítót szerzett be, amely többek között a csertölgy és hazai nyár faanyagának szárítására is alkalmas, ezzel is elősegítve a jövő faanyag-felhasználási trendjeit támogató Egyetemi kutatásokat.

A társaság számos saját kezdeményezésű kutatást is folytat, amelyekbe rendszeresen bevonja a Soproni Egyetem munkatársait és hallgatóit. Ezek közül kiemelendők a klímaváltozáshoz alkalmazkodó fafajok vizsgálatát célzó projektek. A társaság saját forrásból Bulgáriából, Romániából, Grúziából és további országokból szerzett be jelentős mennyiségű makkot és magot (pl. *Fagus orientalis*, *Quercus frainetto*, *Q. pedunculiflora*, *Ulmus minor*, *Pinus heldreichii*, *Abies nordmanniana*, *Cedrus atlantica*, etc.). A szaporítóanyagot részben a társaság csemetekertjében neveltük meg, majd saját erdősítéseikben alkalmaztuk kísérleti célokra. Ezeknek a kutatás fejlesztési projekteknek hármasként van: kidolgozni az újonnan érkező fafajok és származások szaporítóanyag termelési vonatkozásait, elegyíteni: ezáltal genetikailag növelni a meglévő helyi őshonos állományok diverzitását, valamint önálló állományokban megvizsgálni ezeknek az új fajok, alfajok, etc. erdőművelési tulajdonságait.

Elegyítés céljából a társaság az elmúlt 5 évben összesen 80 erdőrészletben, 19 fafaj összesen 129 180 db csemetéjét ültette ki. E mellett 430 kg, négy különböző fajú Kárpátmedencén kívüli származású tölgy makkot helyeztünk ki elegyítés és állományszerkezet diverzitás növelése céljából. Azért, hogy néhány érdekesebb példát említsünk, akácok erdőszegélybe helyeztünk ki fehér eper csemetét (*Morus alba*), bolgár származású mezei szil (*Ulmus minor*) csemetét ültettünk több helyre a száraz termőhelyeinkre. Ismét természetbe vontuk a korábban a szilekhez hasonlóan szintén majdnem teljesen kipusztult szelíd gesztenyét (*Castanea sativa*), és ültettünk ki természetvédelmi célokból háziberkenyét (*Sorbus domestica*) és mádarberkenyét (*Sorbus aucuparia*) is.

Ezek a kísérletek lehetőséget biztosítanak a kutatók és a szakma számára arra, hogy megvizsgálják ezeknek a fajoknak a nagyüzemi természetbe vonásának lehetőségeit. Természetesen saját szakmai tudásunk szerint úgy véljük, hogy a kutatási lehetőségek mellett evvel a tevékenységünkkel hozzájárultunk erdeink jövőbeni fenntartásához is.

Ezeken felül négy erdőrészletben fafajösszehasonlító kísérletet állítottunk be (pl. Sopron 106/A, Sopron 65/D2, Iván 64/F, Fertőszentmiklós 10/L). A Sopron 201/C erdőrészletben 2022 tavaszán, az ERTI munkatársaival együttműködve, bükk fafajú kísérleti erdősítés is megvalósult. Kiemelendő továbbá a Fertőszentmiklós 10/L erdőrészlet, ahol a fafajösszehasonlító kísérlet mellett egy új árok- és tókarendszer kialakításával vízgazdálkodási pilot projekt valósult meg.

A társaság emellett folytatja a különböző rovarmonitoring tevékenységeit is, amelyekbe egyetemi hallgatók is bevonásra kerülnek. Ezek között szintén szerepel már hosszú távú, monitoring tevékenység is pl. a főként *Ips* sp. fajok begyűjtésére szolgáló Theyson féle szűcsapdázás, mely kisebb nagyobb megszakításokkal ugyan de már 30 éves múltú adatsorokkal rendelkezik.

A 2024-es év jelentős eredménye, hogy a társaság kezdeményezésére a Soproni Egyetemen és a Topolynx Kft.-vel közösen fejlesztett erdővédelmi szoftver, az EVELIN (Erdő VÉDELmi INstalláció) elkészült. A program immateriális jószágként már gyarapítja a fejlesztők vagyonát, és nemcsak a TAEG Zrt. és az egyetem kutatói, hanem valamennyi magyar erdőgazdálkodó számára hasznosítható. A szoftver Erdészeti Szakmai Rendszerbe (4ESZTER) történő integrációja jelenleg folyamatban van.

A társaság az erdő- és faipari tevékenységek mellett a vadgazdálkodás területén is aktív kutatási szerepet vállal. 2022-től végezzük mintagyűjtési feladatokat gímszarvas vemhesülés vizsgálatokhoz, 2023 óta éves vadállomány becslési szinkronszámlálásokat hajtunk végre és 2025-től megkezdjük a hőkamerás drónok alkalmazását a társasvadászatok tervezésében és a mezőgazdasági vadkár megelőzésében. 2021 óta minden évben vadgazdálkodási házi konferencia keretében adnak számot eredményeikről a nálunk dolgozó kutatók.

Az erdészeti kutatásokon túlmenően a társaság folyamatos kutatás-fejlesztési tevékenységet is végez az erdőhöz, fához és vadhoz kapcsolódó társ tudományterületeken. A Faipari Mérnöki és Kreatívipari Karral együttműködésben zajlik a rövidrudas tartószerkezetek fejlesztése, a faalapú kapszulaházak megalkotása, valamint a faipari melléktermékek (kéreg, fűrészpor stb.) hasznosításának vizsgálata. Ezek alapjai lehetnek a fenntartható építőiparnak, és piacot teremthetnek eddig ipari célokra fel nem használt erdei fatermékeknek. A Benedek Elek Pedagógiai Karral a környezeti nevelés és az erdőgazdálkodás társadalmasításának lehetőségeit kutatjuk, míg a Lámfalussy Sándor Közgazdaságtudományi Kar segítségével az erdők rekreációs és ökoturisztikai szerepét elemezzük, látogatószámlálások és attitűdvizsgálatok segítségével.

Persze sikereink mellett számos csalódás is ért bennünket. Aki kutatási projektekbe fog az akarva akaratlanul találkozni fog kellemetlen eredményekkel is: elbukott pályázatok, szakmai jogi korlátok, szerencsétlen kísérleti végkimenetek etc. Társaságunkat is többször érték ilyen csalódások. Ezek a kudarcok, hibák, nem szabad, hogy csüggedéssel töltsenek el bennünket. A kutatás-fejlesztési munkáknak mindig részei a negatív eredmények is, melyekből ugyan úgy tanulnunk kell, hogy a következő kísérleteknél már felkészültebben kezdjünk neki a munkának. Ezért is fontos, hogy időnként a kötött eszmecsere mellett, kötetlen formában is megosszuk egymással tapasztalatainkat, hogy azokat a percek is feldolgozzuk és felhasználjuk, a fejlődés érdekében.

Ezek tudatában, társaság kiemelt figyelmet fordít a kutatási eredmények széles körű megismertetésére. Évente szakosztályüléseket és házi konferenciákat szervez, és nyitott az innováció iránt érdeklődő gazdálkodók fogadására. Az ilyen rendezvények kiváló lehetőséget nyújtanak arra, hogy ne csak a sikereinket, hanem hibáinkat is elmondjuk másoknak, hogy Nekik már ne kelljen elszenvedni azokat. Ez a fajta ismeret átadás legalább olyan hasznos, mint a pozitív eredmények megismertetése. A társaság munkatársai az elmúlt öt évben összesen 47 publikáció megjelenésében vettek részt szerzőként vagy társszerzőként, melyből 18 munka szakmai, vagy tudományos minőségű. A többsége (29 db) ismeretterjesztő és szakmai népszerűsítő jellegű, amelyek napjainkban legalább olyan jelentőséggel bírnak, mint a szűkebb értelemben vett tudományos közlemények.

Következtetések

A bemutatott példák alapján megállapítható, hogy az erdőgazdaság múltbeli és jelenlegi működése során számos olyan eljárást és tevékenységet integrál a mindennapi gazdálkodási gyakorlatába, amelyek az üzemszerű erdőgazdálkodás mellett a hosszú távú, jövőorientált erdészeti kutatásokat és kísérleteket is támogatják. E tevékenységek időbeli mélysége és koncentrált jelenléte a társaságot kiemeli a hazai erdőgazdaságok közül. Számos esetben a kutatások a valós gazdálkodási környezet hiányában elveszítenék gyakorlati relevanciájukat.

Nem csupán egy kiterjedt kutatási portfólió összehangolása tekinthető eredménynek, hanem az is, hogy e tevékenységek közös szemléleti keretbe kerültek (pl. saját klímastratégia: amely tizenkét pontos cselekvési tervvel záródik FOLCZ, 2024), és beépülnek a mindennapi gazdálkodási gyakorlatba (CSÁNYI ÉS SÁNDOR, 2023). A kapott eredmények rendszerezése és

értelmezése alapvető feltétele annak, hogy releváns válaszokat kapjunk, és új kutatási kérdéseket fogalmazzunk meg.

Ez úton is biztatunk minden érdeklődő erdőgazdálkodót, hogy nyisson a kutatások, kísérletek nyújtotta információszerezés lehetősége felé. Mint gazdálkodók mi hordozzuk az erdők iránti felelőséget, nem a kutatók. A kutatók akkor tudnak helyes válaszokat adni, ha a kérdéseket helyesen tesszük föl nekik. Nekünk kell venni a bátorságot, hogy az esetlegesen több és néha ellentétes információkat, saját gazdálkodásunk, az erdők fenntartható kezelése során egy egységgé kovácsolva használjuk fel. Bízunk benne, hogy fentiekben bemutatott tevékenységeink ismertetésével motiváljuk az erdőkért felelős kollégákat abban, hogy partnerek legyenek a kutatás-fejlesztés tevékenységében és aztán azok eredményeinek hasznosításában.

Köszönetnyilvánítás

Jelen fejezetben rendhagyó módon nem kizárólag pályázati támogatóinknak vagy partnerintézményeinknek kívánunk köszönetet mondani, hanem mindazoknak, akik áldozatos és gyakran láthatatlan munkájukkal hozzájárultak a bemutatott eredmények megszületéséhez. Szeretnénk kiemelni a kutatások háttérmunkáját végző kollégákat és adminisztratív munkatársakat, valamint azokat, akiknek neve nem szerepel a publikációk szerzőlistáján, mégis nélkülözhetetlen szerepet játszanak az eredmények létrejöttében. Köszönet illeti őket minden megtett kilométerért, minden megfigyeléssel töltött óráért, minden megmért fatörzsért, elültetett csemetéért, begyűjtött mintáért, feldolgozott adatért és elvégzett háttérmunkáért.

Végül köszönet illeti a tulajdonosi joggyakorlót, a Soproni Egyetemért Alapítványt és annak kuratóriumát a társaság munkájának támogatásáért, valamint a Soproni Egyetem valamennyi munkatársát, akik szervezői vagy kutatói tevékenységükkel hozzájárulnak közös céljaink megvalósításához, különös tekintettel a konferencia szervezőire.

Irodalomjegyzék

- BÉKY A. (1958): A Tanulmányi Állami Erdőgazdaság Ismertetése. Sopron
- CSÁNYI E. ÉS SÁNDOR GY. (2023): Vadbiológia tudatos használata a vadgazdálkodásban, Nimród 111: 4 pp. 12-17.
- FOLCZ Á. (2024): Klímaváltozás elleni küzdelem a TAEG Zrt.-nél. Erészseti Lapok 159: 11 p. 488
- GRIBOVSKI Z., CSÁKI P., KALICZ P. ÉS ZAGYVAINÉ KISS K. (2019): Erdő és víz – Kutatások az Erdőmérnöki Karon in.: Király G. – Facskó F. (szerk.) Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VII. Kari Tudományos Konferencia. Soproni Egyetem Kiadó Sopron.
- KOVÁCS B., KELEMEN K., RUFF J. ÉS STANDOVÁR T. (2013): Üzemi léptékben alkalmazott átalakító üzemmód lékes felújításának tapasztalatai a Királyréti Erdészeti területén. Erdészettudományi Közlemények, 3(1): 55-70
- OBERMAYER GY. (1985): Néhány gondolat a Tanulmányi Állami Erdőgazdaság szerepéről a szakoktatásban. Az Erdő 1985. 34. (120.) évf. 12. füzet - 547-550

A 2009. ÉVI ERDŐTÖRVÉNY NORMATÍV VÁLTOZÁSAI (2009–2025) HÁNYSZOR ÍRTHATÓ ÁT UGYANAZ AZ ERDŐ?

Normative amendments to Hungary's Forest Act of 2009 (2009–2025)
How many times can the same forest be rewritten?

FRANK NORBERT¹

¹Soproni Egyetem, Erdő- és Természeti Erőforrás-gazdálkodási Intézet
frank.norbert@uni-sopron.hu

Kivonat

Jelen tanulmány a 2009. évi XXXVII. törvény (az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról) 2009-es kihirdetési állapotát és a 2025. december 31-én hatályos szöveget hasonlítja össze. A vizsgálat egysége a paragrafus (§), amelyre egyrészt szerkezeti (paragrafusszám-rendszer, beékelések), másrészt terminológiai eltolódást jelző mutatókat számítottunk. A jogkövetkezmény/szankció fogalomkörre épített kulcsszó-lista alapján normalizált előfordulási sűrűséget (találat/10 000 szó) képeztünk, és §-szinten elemeztük a változás eloszlását. Az eredmények azt jelzik, hogy a módosulások a törvény egészéhez képest néhány, jól körül írható normacsoportban koncentrálnak, miközben a közös §-ok többségében a vizsgált jogkövetkezmény-terminológia változatlan (medián változás = 0).

Abstract

This study compares the text of Act XXXVII of 2009 on Forests, the Protection of Forests and Forest Management as promulgated in 2009 with the version in force on 31 December 2025. The unit of analysis is the section (§), for which we calculated, on the one hand, structural indicators (section-numbering system, insertions) and, on the other hand, indicators capturing terminological shifts. Based on a keyword list built around the concept domain of legal consequences/sanctions, we computed a normalized occurrence density (hits per 10,000 words) and analyzed the distribution of changes at the § level. The results indicate that amendments are concentrated in a few well-defined groups of provisions relative to the Act as a whole, while in most shared sections the examined legal-consequence terminology remains unchanged (median change = 0).

Bevezetés

Az erdő a magyar jogrendben egyszerre természetvédelmi érték, gazdasági erőforrás és közjószág-jellegű ökoszisztéma, amelynek szabályozása szükségszerűen több célrendszert integrál. A 2009. évi XXXVII. törvény (a továbbiakban: Erdőtörvény) e többes rendeltetést egy hosszú távra szánt normatív keretben rendezi, ugyanakkor 2009 és 2025 között a szabályozási környezet számos alkalommal módosult. A módosítások kumulatív hatása különösen az erdőgazdálkodás több évtizedes időléptéke miatt érdemel kiemelt figyelmet: a jogi előreláthatóság és a végrehajthatóság (hatósági és gazdálkodói oldalról egyaránt) az erdővel kapcsolatos közpolitikai célok teljesülésének feltétele.

A tanulmány központi kérdése ezért nem kizárólag az, hogy „mi változott”, hanem az is, hogy a változások miként koncentrálnak a törvény szerkezetében, és milyen nyelvi lenyomatot hagynak a jogkövetkezmény/szankció fogalomkörben. A címben szereplő kérdés („Hányszor írható át ugyanaz az erdő?”) egyszerre utal a jogtechnikai beékelésekre és arra a társadalmi vitára, amely az erdő funkcióiról – gazdálkodás, védelem, klímaadaptáció, rekreáció – folyamatosan újrasúlyozott elvárásokat fogalmaz meg.

Anyag és módszer

A vizsgálat két, DOCX formátumú jogszabály-szövegre épült: (i) az Erdőtörvény 2009-es, kihirdetett szövegállapota, valamint (ii) a 2025. december 31-én hatályos konszolidált szöveg. A két állapot összevetése célzottan a normatív szerkezet (§-szintű tagolás) és a jogkövetkezmény-terminológia változásának feltárására irányult. Az elemzés alapját két, DOCX formátumú törvénytörvény adta (Evt_2009.docx; Evt_2025.docx). A dokumentumokból az R környezetben a bekezdés-szintű tartalmat programozottan nyertük ki, majd reguláris kifejezésekkel azonosítottuk a „§” jelöléshez kötődő egységeket. A paragrafusokat (pl. „12. §”, „111/A. §”) a továbbiakban vizsgálati egységként kezeltük (mikroszerkezet). A DOCX forrásformátum sajátosságai miatt (tördelés, lábjegyzet-jellegű számozások, bekezdés-szétcsúsztatások) a kinyerés után aggregáltuk az esetleg többször megjelenő azonos paragrafus-azonosítókat, így biztosítva, hogy egy § egy megfigyelésnek feleljen meg.

A korpusz-terjedelem összehasonlíthatóságát a szószám alapú normalizálás biztosította. A szankció- és jogkövetkezmény-orientált elemzésben előre rögzített, jogászi-logikai alapon összeállított kulcsszólistát használtunk (például: „bírság*”, „jogkövetkezmény”, „szankció”, „visszavon*”, „eltilt”, „felfüggeszt”, „semmis”, „megszüntet”, „megtérít”). A kulcsszavak előfordulását §-onként számoltuk, majd 10 000 szóra vetített sűrűségi mutatóvá (hits/10k) alakítottuk. A két időmetszet közötti különbséget a delta (Δ) adta, ahol $\Delta = (2025 \text{ hits}/10k) - (2009 \text{ hits}/10k)$. Pozitív Δ érték 2025-ben relatíve gyakoribb, negatív Δ érték ritkább előfordulást jelez.

A szerkezeti változást két egyszerű indikátorral ragadtuk meg: (i) a kinyert paragrafusok darabszámának változásával, valamint (ii) az „iktatott” jellegű, betűjeles paragrafusok (pl. 6/A. §, 90/K. §) arányával. Az eredmények értelmezésekor külön figyelmet kapott a rövid szakaszok problémája: ha egy § szövege nagyon rövid, a 10 000 szóra vetített sűrűség „felnagyíthatja” a különbségeket. Ezt a torzítást az eredmények bemutatásakor minimum szószám-küszöb (50 szó) alkalmazásával mérsékeljük a §-szintű rangsorokban.

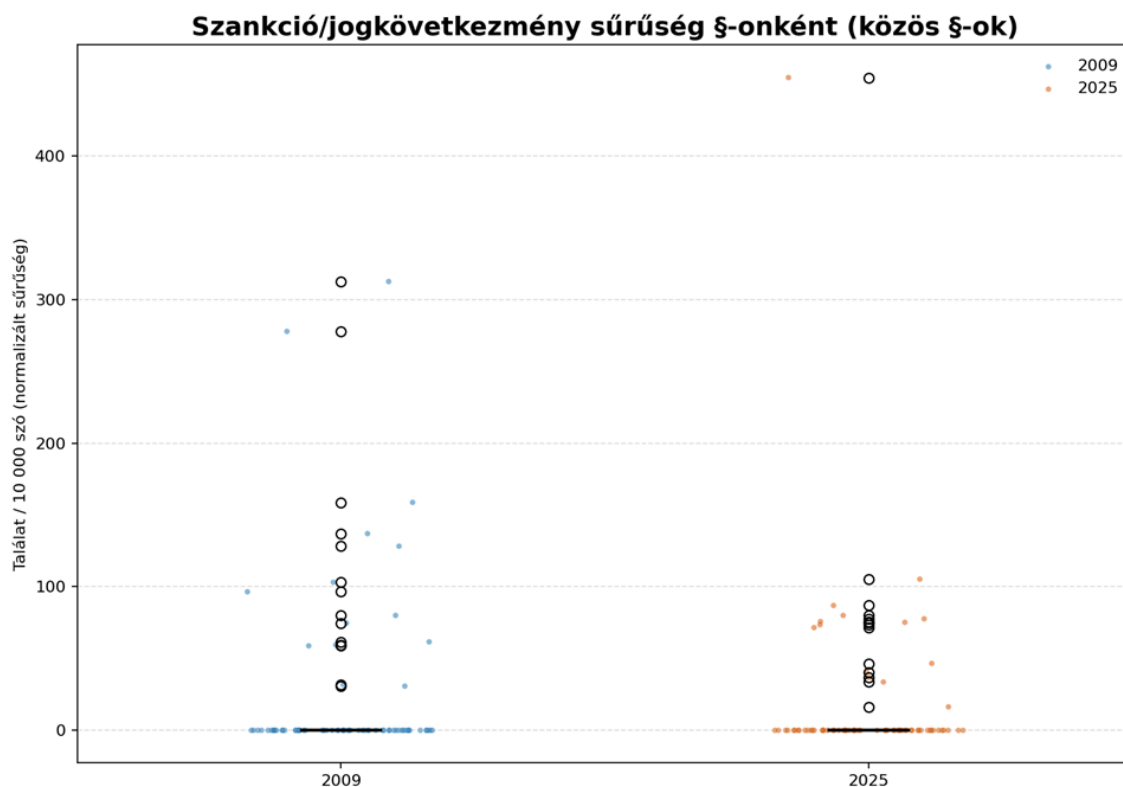
Az elemzések R nyelvi környezetben (R, azaz a statisztikai számításokhoz használt programnyelv) és RStudio (integrált fejlesztői környezet, Integrated Development Environment – IDE) segítségével készültek; a dokumentumfeldolgozás és a szövegbányászati műveletek tipikusan a quanteda csomagcsaládra épültek. A jelen kéziratban közölt ábrák a feldolgozott eredménytáblákból reprodukálhatók.

Eredmények

A paragrafus-szintű kinyerés alapján a 2009-es szövegállapot 114 §-t tartalmaz. A 2025. december 31-én hatályos szövegben 185 § azonosítható, amely 114 közös és 71 újonnan megjelenő paragrafusból áll. Az új §-ok túlnyomó része beékeléses (betűjeles) megoldással jelent meg: 69 esetben /A–/Z jelölésű paragrafus, míg 2 esetben új, nem betűjeles § került be. E szerkezeti kép összhangban van azzal a jogtechnikai gyakorlattal, amely a törvény gerincének megtartása mellett a módosításokat gyakran beékelésekkel oldja meg. A módszer előnye, hogy megőrzi a hivatkozási stabilitást, hátránya azonban, hogy hosszabb távon rétegzett, „palimpszeszt”-jellegű szöveget eredményezhet, amelyben a normatív logikák időben egymásra íródnak.

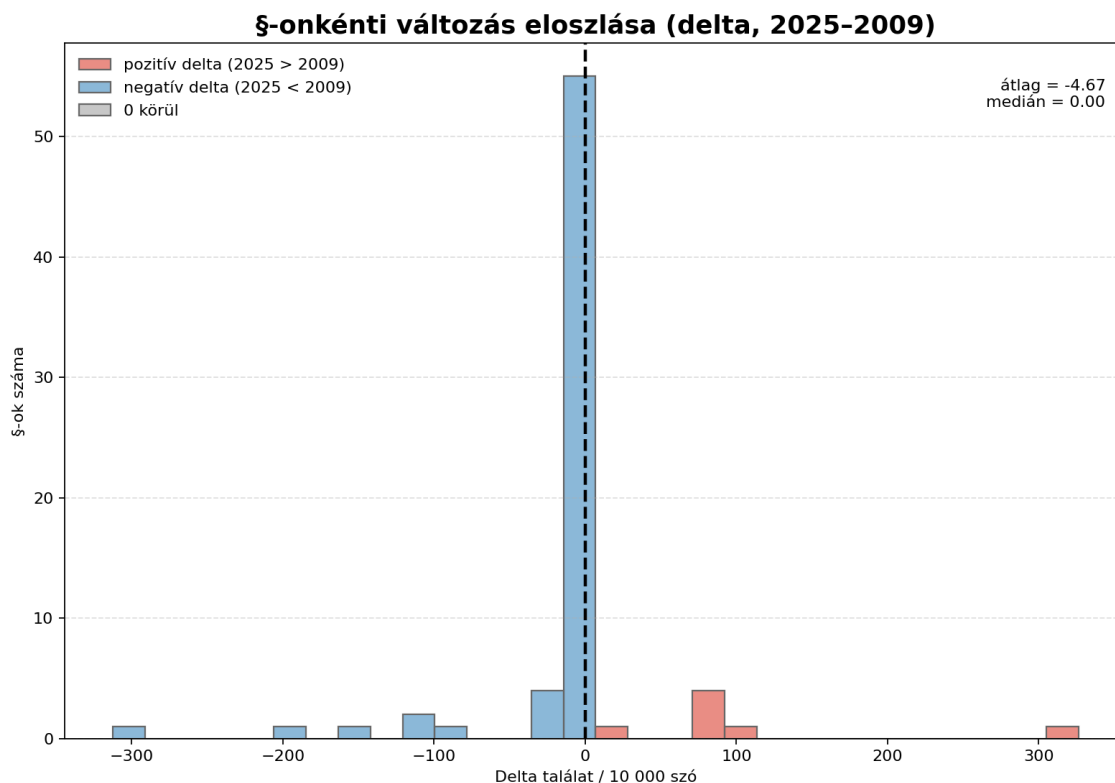
1. Táblázat: táblázat neve 1. táblázat. A jogkövetkezmény/szankció kulcsszólista legnagyobb változása elemei (normalizált, /10 000 szó)

Kifejezés (tő/lemma)	Találat 2009	Találat 2025	/10k 2009	/10k 2025	Delta (/10k)
visszavon	0	14	0.000	4.763	4.763
eltilt	0	14	0.000	4.763	4.763
jogkövetkezmény	0	11	0.000	3.742	3.742
szankció	0	10	0.000	3.402	3.402
bírság	21	32	13.295	10.887	-2.409
megtérít	5	3	3.166	1.021	-2.145
semmis	0	4	0.000	1.361	1.361
felfüggeszt	0	4	0.000	1.361	1.361
megszüntet	9	14	5.698	4.763	-0.935
közigazgatási bírság	0	2	0.000	0.680	0.680



1. ábra. A jogkövetkezmény/szankció kulcsszavak normalizált sűrűsége a közös §-okban (2009 = kék, 2025 = narancs).

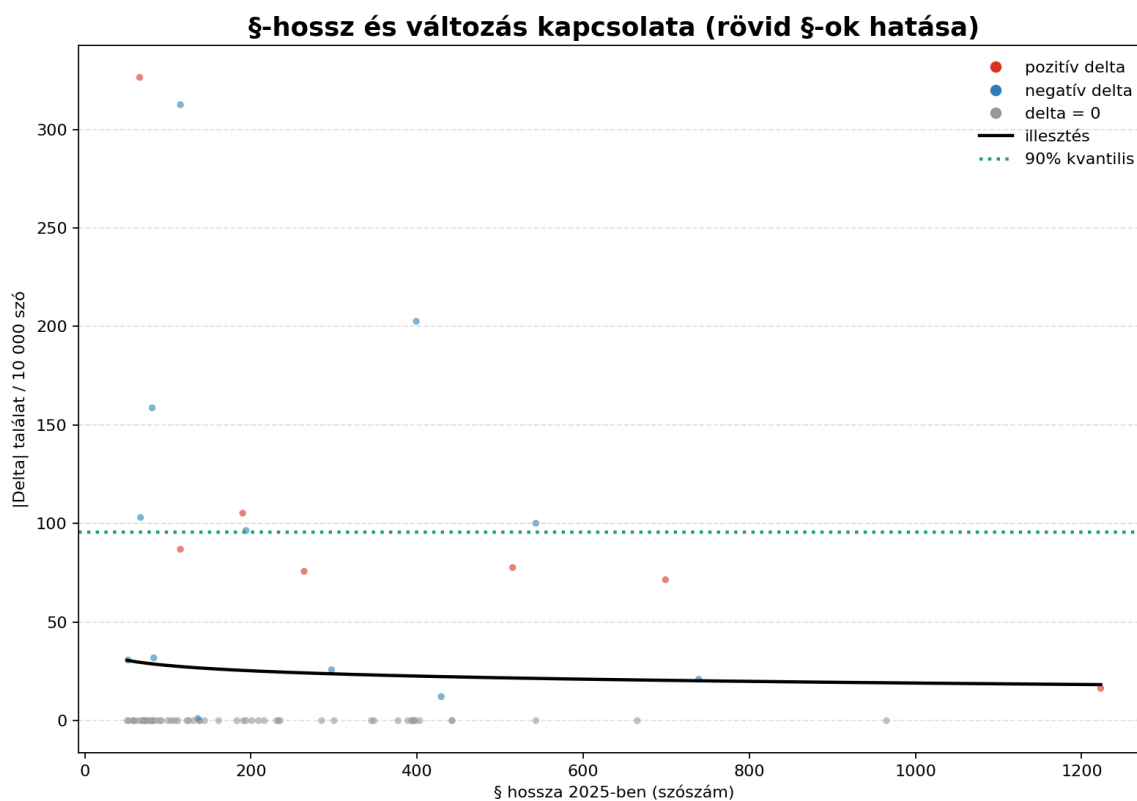
A kulcsszólista összesített előfordulása 2009-ben 35 találat, 2025-ben 108 találat. A szöveg-hossz-normalizált sűrűség 2009-ben 22.16 találat/10 000 szó, míg 2025-ben 36.74 találat/10 000 szó. Ez a mutató – a választott kulcsszólistán belül – növekvő jogkövetkezmény/szankció-nyelvi jelenlétre utal. A terminológiai eltolódás nem egyenletes: a legnagyobb pozitív elmozdulást a „visszavon”, „eltilt”, „jogkövetkezmény” és „szankció” jelölők adják, míg egyes klasszikus kifejezések (pl. „bírság”, „megtérit*”) a normalizált mutatóban relatív csökkenést is mutathatnak, ami arra utal, hogy a szöveg bővülése és a következményrendszer differenciálódása átalakítja a hangsúlyokat (1. táblázat).



2. ábra. A §-onkénti változás (delta = 2025–2009) eloszlása a közös §-okban (pozitív = piros, negatív = kék, 0 körül = szürke).

A közös §-ok §-szintű eloszlása azt mutatja, hogy a jogkövetkezmény/szankció terminológia a legtöbb paragrafusban egyáltalán nem jelenik meg a választott kulcsszólista alapján (az eloszlás mediánja 0; 2. ábra). A változás eloszlásának mediánja 0, míg az átlag -4.67 (találat/10 000 szó), ami aszimmetrikus eloszlásra utal: kevés paragrafus változik nagyot, a többség nem. A 1. ábra a két év normalizált sűrűségét hasonlítja össze; a kiugró értékek azokat a §-okat jelzik, amelyekben a következményrendszer nyelvi jelölői koncentrálnak.

A 3. ábra a paragrafus-hossz és a változás (delta) kapcsolatát szemlélteti. Az illesztés lefelé tartó trendje arra utal, hogy rövidebb §-okban ugyanazon számú találat nagyobb normalizált eltérést okozhat. Ez módszertanilag indokolja a minimum szószám-küszöb alkalmazását, és jogászai szempontból óvatosságra int a „legerősebben változó §-ok” rangsorolásakor: a normatív jelentőség értékeléséhez a kvantitatív jelzés mellett szükséges a szöveggörnyezet (kontextus) és a dogmatikai tartalom kvalitatív vizsgálata.



3. ábra. A §-hossz és a változás abszolút értékének kapcsolata; a pontok előjele szerint színezettek (pozitív = piros, negatív = kék, 0 = szürke), a zöld vonal a 90% kvantilis küszöböt jelzi.

Következtetések

A 2009–2025 közötti normatív átírások mögött nem pusztán szövegtechnikai karbantartás áll, hanem az erdő társadalmi funkcióiról alkotott kép átrendeződése. Az erdő – mint természeti erőforrás, közjószág-jellegű ökoszisztéma és gazdasági termelőeszköz – olyan szabályozási tárgy, amelyre egyszerre nehezednek a klímapolitikai, természetvédelmi, birtokpolitikai, közigazgatási és piaci racionalitások. Emiatt az Erdőtörvény módosulásai valójában azt tükrözik, hogy az „erdő” jogi fogalma és a hozzá rendelt állami, tulajdonosi és közösségi felelősség hogyan próbál lépést tartani a változó társadalmi elvárásokkal. Jogászi szempontból az „átírás” két dimenzióban értelmezhető: a normatív tartalom (jogintézmények, kötelezettségek, jogosultságok, hatósági eszközök, eljárások és jogkövetkezmények) módosulásában, illetve a jogtechnikai szerkezet (tagolás, §-beékelések, fogalmi apparátus, hivatkozási háló) átalakulásában.

A vizsgált időszakban a jogalkotó gyakran a beékeléses, „réteges” módosítás eszközéhez nyúlt, ami a hivatkozási stabilitást erősítheti, ugyanakkor a törvény szövegét idővel réteg-zetté teszi. A beékelések nagy aránya (71 új §, ebből 69 betűjeles) a normatív folytonosság megtartása mellett a szabályozás bővülését jelzi. Igazgatási nézőpontból a módosítások következményei a szabályozási stabilitás és a végrehajthatóság tengelyén ragadhatók meg. Az erdőgazdálkodás időléptéke több évtizedes; ezért a jogi környezet gyakori átírása – még ha az egyes módosítások külön-külön indokolhatók is – kumulatíván bizonytalanságot eredményezhet. A kritikus kérdés nem az egyes normák elszigetelt ismerete, hanem az, hogy a gazdálkodó és a hatóság melyik normatív logika szerint értelmezi a hosszú távú döntéseket (termelési, védelmi, klímaadaptációs vagy biodiverzitási prioritás).

A szövegbányászati eredmények – különösen a jogkövetkezmény/szankció terminológia normalizált sűrűségének növekedése, valamint a §-szintű eloszlások koncentrált jellege – e tekintetben nem pusztán technikai mérőszámok. A 1–3. ábrák együtt azt mutatják, hogy a változások nem egyenletesen oszlanak el a közös §-okban: a medián változás 0 (2. ábra), miközben kevés paragrafusban kiugróan magas a jogkövetkezmény-nyelvi jelenlét (1. ábra). Ez arra utal, hogy a jogalkotói beavatkozás csomópontokban erősít, nem pedig a törvény egészét „szankciósítja”. A címben szereplő kérdésre („Hányszor írható át ugyanaz az erdő?”) differenciált válasz adható.

Formálisan a törvény szövege tetszőleges számú módosítást elbír: átírható, beékelhető, konszolidálható. Funkcionálisan azonban az átírások száma korlátos, mert a túl gyakori módosítások megbontják a hosszú távú gazdálkodási döntések és a jogi előreláthatóság egyensúlyát, és növelik a végrehajtás tranzakciós költségeit. Normatív minőség szempontjából az átírhatóság valódi korlátját a koherencia adja: a jogintézmények közötti kapcsolat, a fogalmi tisztaság és a jogkövetkezmények arányossága. Az erdő „ugyanaz” marad biológiai értelemben, de jogi értelemben mindig azt jelenti, amit a társadalom – a jogalkotón keresztül – éppen elvár tőle: termelést, védelmet, klímaadaptációt, rekreációt vagy ezek integrációját.

Végezetül kiemelendő, hogy a bemutatott szövegbányászati módszertan nem helyettesíti a dogmatikai elemzést, viszont olyan szisztematikus szűrőt ad, amely képes kijelölni a normatív átrendeződés „forrópontjait”.

A jogász számára ez abban nyújt többletet, hogy a figyelmet nem a törvénytövege egészére, hanem a legnagyobb változást mutató §-okra és a terminológiai eltolódásra irányítja; a gyakorlatban dolgozó kollégák és (persze) a hatóság számára pedig abban, hogy az átalakuló következményrendszer és eljárási háló azon részeit azonosítja, amelyek a gyakorlatban a leginkább befolyásolhatják az erdőgazdálkodási döntéseket.

Az Erdőtörvény 2009 és 2025 közötti normatív változásai §-szinten jól látható szerkezeti bővüléssel jártak: az új paragrafusok döntő többsége beékeléssel (betűjeles §) jelent meg, ami a jogtechnikai folytonosságot támogatja, ugyanakkor hosszabb távon rétegzett szövegstruktúrát eredményezhet. A jogkövetkezmény/szankció fogalomkörre épített kulcsszólista-alapú mérés a terminológia összesített és normalizált erősödését jelzi, de az eloszlások alapján ez nem általános „szigorodásként” kerül szét, hanem csomópontokban koncentrálódik. A közös §-ok többségében a vizsgált terminológia változatlan (medián delta = 0), míg kevés § mutat nagy elmozdulást (1–3. ábra). E kvantitatív jelzések alapján a jogtudományi értékelés következő lépése a kiugró §-ok kvalitatív, dogmatikai és igazgatási-gyakorlati elemzése.

Irodalomjegyzék

2009. évi XXXVII. törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról (szöveg 2025. december 31-i hatállyal).
- BENOIT, K. – WATANABE, K. – WANG, H. – NULTY, P. – OBENG, A. – MÜLLER, S. – MATSUO, A. (2018): An R package for the quantitative analysis of textual data. *Journal of Open Source Software*, 3(30), 774.
- R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RStudio Team. (2025). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC.

MIT HOZ A JÖVŐ SOPRON NÖVÉNYVILÁGÁNAK? – AVAGY KÜZDELEM A BETOLAKODÓKKAL

What does the future hold for Sopron's plant life? – Or: The fight against invasive species

GÖDE TAMÁS¹, FRANK NORBERT¹, CZIMBER KORNÉL²

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar Erdő- és Természeti Erőforrás-gazdálkodási Intézet

²Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet
gode.tamas@uni-sopron.hu

Kivonat

Vizsgálataink során Sopron belterületének növényvilágát elemezzük, különös tekintettel a nem őshonos, ezen belül az invázós növényfajok megtelepedésére és terjedési mintázataira. A települési zöldfelületek kezelését is kiterjedt jogszabályi háttér szabályozza, amelyek gyakorlati érvényesülése közvetlen hatással van a városi ökoszisztémák állapotára. Kutatásunk egyik kiemelt kérdése az ide vonatkozó jogszabályok- különösen a 282/2024 (IX.30.) kormányrendelet- ismertsége és betartása.

Arra keressük a választ, hogy az érintett szereplők-például területkezelők, a lakosság és az intézmények- mennyire vannak tisztában a rendelet előírásaival, illetve hogy a jogszabályok be nem tartása milyen mértékben járulhat hozzá az őshonos növényvilág veszélyeztetéséhez és az invázós fajok terjedéséhez. A kutatás során GNSS alapú és terepi geoinformatikai felméréseket végzünk, majd az adatokat feldolgozzuk annak érdekében, hogy hozzájáruljunk egy hosszú távú fenntartható, ökológiailag stabil városi környezet kialakításához Sopronban.

Abstract

During our investigations, we analyse the vegetation of the inner urban area of Sopron, with special emphasis on the establishment and spread patterns of non-native, particularly invasive plant species. The management of urban green spaces is regulated by an extensive legal framework, the practical implementation of which has a direct impact on the condition of urban ecosystems. One of the key research questions focuses on the awareness of and compliance with the relevant legislation, especially Government Decree No. 282/2024 (IX.30.).

Our aim is to assess the extent to which the stakeholders concerned-such as land managers, residents, and institutions-are familiar with the provisions of the degree, and to what degree non-compliance may contribute to the endangerment of native vegetation and the spread of invasive species. During the research, we conduct GNSS-based and field geo-informatics surveys, followed by data processing and analysis in order to contribute to the development of a long-term sustainable and ecologically stable urban environment in Sopron.

Bevezetés

„A természet a civilizációnk nagy házigazdája, és mi ide csak beléptünk és megpróbáljuk lenyelni a belőle áradó mélységet.

A lényeg! A természet az rend. És mi emberek beléptünk ebbe a szentségbe, és nem voltunk kegyes látogatók. Fát vágunk, vizet szennyeztünk, és megpróbáltunk rendet teremteni ott, ahol a harmónia egykoron tökéletes volt.” (FARKAS, 2025)

A biológiai invázók napjaink egyik legjelentősebb természetvédelmi és környezetgazdálkodási kihívását jelentik, különösen az urbán térségekben, ahol az antropogén hatások koncentráltan érvényesülnek. Az idegenhonos, úgynevezett adventív fajok megtelepedése és

terjedése jelentős mértékben átalakíthatja az őshonos növénytakasulásokot, csökkentheti a biodiverzitást, valamint ökológiai és gazdasági károkat okozhat.

A magyarországi flóra megközelítőleg 2400 növényfajból áll, melyek 3%-a sorolható az adventív fajok közé. Bár számuk abszolút értelemben viszonylag alacsony, ökológiai hatásuk gyakran aránytalanul nagy, különösen ott, ahol versenyelőnyük révén képesek kiszorítani az őshonos fajokat.

Az inváziós növényfajok megjelenésének történeti háttere

A biológiai inváziók nem tekinthetők kizárólag modern jelenségnek. Az első jelentős inváziós hullám a földművelés és állattenyésztés elterjedésével párhuzamosan, a neolitikum idején zajlott le. A vándorlások, a cserekereskedelem és a tudatos vagy véletlenszerű fajbehurcolások következtében számos növényfaj olyan területeken is megjelent, ahol korábban nem volt része a természetes növénytakasulásoknak. Régészeti és archeobotanikai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy közel 200 növényfaj már a neolitikum során megjelent a Kárpát-medencében, annak ellenére, hogy nem tekinthetők őshonosnak (TERPÓ et al, 1999).

A második, lényegesen intenzívebb biológiai inváziós hullám a nagy földrajzi felfedezések időszakához köthető. Az Újvilág felfedezésével Európába számos új növénytaxon került be, köztük olyan, mára alapvető jelentőségű haszonnövények, mint a kukorica (*Zea mays*), a burgonya (*Solanum tuberosum*), a paradicsom (*Solanum lycopersicum*), a paprika (*Capsicum spp.*), a napraforgó (*Helianthus annuus*) vagy a dohány (*Nicotiana tabacum*). E fajok társadalmi és gazdasági jelentősége miatt megítélésük gyökeresen eltér a napjainkban problémásnak tekintett inváziós fajokétól.

Az inváziós fajok ökológiai hatásai

Nem minden idegenhonos faj válik invázióssá, azonban azok a taxonok, amelyek sikeresen megtelepednek és gyors terjedésre képesek, komoly veszélyt jelenthetnek az őshonos flórára. Charles Darwin már *A fajok eredete* című művében rámutatott arra, hogy az új környezetbe kerülő fajok akkor lehetnek különösen sikeresek, ha kevés közeli rokonuk van az adott területen, mivel a legerősebb kompetíció jellemzően a filogenetikailag közeli fajok között alakul ki (REJMÁNEK, 1996).

E gondolatmenet jól magyarázza az inváziós növények kompetitív előnyét a hazai flórával szemben, különösen az élőhelyek feldarabolódása és a városi környezetek zavart jellege mellett.

Inváziós növények kutatása és monitorozása Magyarországon

Magyarországon az idegenhonos és inváziós fajok kutatása hosszú múltra tekint vissza. Kittaibel Pál, Borbás Vince, Jávorka Sándor és Soó Rezső munkássága alapvetően járult hozzá a jövevény fajok hazai megismeréséhez. Napjainkban a probléma súlyosságát jól jelzi, hogy több országos szintű monitorozó rendszer működik az inváziós fajok megjelenésének és terjedésének nyomon követésére, mint például a Nemzeti Biodiverzitás Monitorozó Rendszer (NBMR). Emellett egyre nagyobb szerepet kapnak a közösségi alapú adatgyűjtési kezdeményezések (Citizen Science).

Jogsabályi környezet és urbán kihívások

Az inváziós növényfajok elleni fellépést az Európai Unió és a hazai jogsabályi környezet is egyre szigorúbban szabályozza. Az EU 2024/1991-es rendelete jelentős kötelezettségeket ró az erdészeti, mezőgazdasági és városüzemeltetési ágazatokra, többek között az idegenhonos inváziós fajok eltávolítása, terjedésük megakadályozása, valamint a városi

ökoszisztémák helyreállítása érdekében. A rendelet előírja a városi lombkorona-borítottság mértékét, valamint az invázós fajok eltávolítását, illetve terjedésük megfékezését.

Hazai szinten a 282/2024. (IX.30.) Korm. rendelet szabályozza a települési zöld infrastruktúra fejlesztését, meghatározva azokat az inváziós növényfajokat, amelyek nem telepíthetők városi zöld felületeken.

Ugyanakkor helyi szinten eltérő szabályozások is léteznek: Sopron város 33/1999.(XII.8.) önkormányzati rendelete például bizonyos területeken védtként kezeli a bálványfát (*Ailanthus altissima*) és az illatos császárfát (*Paulownia tomentosa*), annak ellenére, hogy ezek országos és uniós szinten inváziós fajként vannak nyilvántartva. Ez a jogszabályi inkonzisztencia komoly kihívást jelent a városi zöldfelület-gazdálkodás számára (1. táblázat).

1. táblázat: Részlet a 33/1999. (XII.8.) önkormányzati rendeletről (URL1)

T16.Erzsébet kórház parkja		
Védett taxonok		
Fák		db
Bálványfa	<i>Ailanthus altissima</i>	20
Besztercei szilva	<i>Prunus domestica</i>	22
Bírsalma	<i>Cydonia oblonga</i>	4
Bükk	<i>Fagus sylvatica</i>	2
Császárfa	<i>Paulownia tomentosa</i>	1
Cseresznyeszilva	<i>Prunus cerasifera</i>	5
Csörgőfa	<i>Koelreuteria paniculata</i>	9
Ezüstfenyő	<i>Picea pungens</i>	3
Ezüstjuhar	<i>Acer saccharinum</i>	27
Fehér akác	<i>Robinia pseudoacacia</i>	65
Fehér fűz	<i>Salix alba</i>	1
Fekete dió	<i>Juglans nigra</i>	1
Feketefenyő	<i>Pinus nigra</i>	49
Gyertyán	<i>Carpinus betulus</i>	4
Hegyi juhar	<i>Acer pseudoplatanus</i>	10
Japánakác	<i>Sophora japonica</i>	5
Juharlevelű platán	<i>Platanus x hybrida</i>	7
Keleti tuja	<i>Thuja orientalis</i>	49
Keskenylevelű ezüstfa	<i>Eleagnus angustifolia</i>	4
Kislevelű hárs	<i>Tilia cordata</i>	17
Korai juhar	<i>Acer platanoides</i>	68
Kőrislevelű juhar	<i>Acer negundo</i>	19
Közönséges nyír	<i>Betula pendula</i>	20
Krisztustövis	<i>Gleditsia triacanthos</i>	4

Anyag és módszer

A jelen doktori kutatás nem az inváziós növényfajok biológiai és taxonómiai jellemzőinek részletes vizsgálatára fókuszál, hanem egy döntéstámogató és problémafelismerő módszertan kidolgozását tűzi ki célul. A vizsgálatok Sopron város közigazgatási területén zajlanak, GNSS-alapú terepi adatgyűjtés és geoinformatikai módszerek alkalmazásával.

A terepi felméréseket mobiltelefonnal végezzük a topoXpress alkalmazás használatával, amelyben feljegyezzük az inváziós növények legfontosabb jellemzőit, például a fajt, a magasságot, az elhelyezkedést és a korcsoportot. A több éven át gyűjtött adatok segítségével pontosan nyomon követhetővé válik a fajok terjedése finom léptékben. Az adatfeldolgozás során térbeli modellek segítségével kerülnek azonosításra az inváziós fajok megtelepedését és terjedését befolyásoló környezeti prediktorok.

Eredmények

A kutatás eredményei közvetlenül hasznosíthatóak lesznek a városi zöldfelület-tervezésben, az inváziós fajok kezelésében, valamint a jogszabályi megfelelés támogatásában. A kidolgozott módszertan hozzájárulhat a városi ökoszisztémák hosszú távú fenntarthatóságához és a biodiverzitás megőrzéséhez. A vizsgálat eredményei arra utalnak, hogy az inváziós fajok kezelésében a reaktív beavatkozások helyett a megelőzésre és a korai felismerésre épülő stratégiák bizonyulhatnak a leghatékonyabbaknak. A döntéstámogató rendszerként alkalmazható módszertan hozzájárulhat a városüzemeltetők munkájának racionalizálásához.

Következtetések

A kutatás egyik fő következtetése, hogy a GNSS-alapú terepi adatgyűjtés és a geoinformatikai elemzések hatékony eszközt jelentenek az inváziós növényfajok városi léptékű eloszlásának feltárásában. A térbeli modellezés lehetőséget biztosít a megtelepedést és terjedést befolyásoló környezeti prediktorok azonosítására, valamint a jövőbeli terjedési kockázatok előrejelzésére.

Összességében megállapítható, hogy a városi inváziós növényfajok kutatása nem kizárólag természetvédelmi kérdés, hanem várostervezés, zöldfelület-gazdálkodás és a fenntartható városfejlesztés szerves része. A finom léptékű térbeli elemzések integrálása a gyakorlatban elengedhetetlen az urbán ökoszisztémák hosszú távú ellenálló képességének megőrzéséhez.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás során köszönetet mondunk mindazoknak, akik hasznos szakmai tanácsokkal segítettek munkánkat, valamint értékes szakirodalmi forrásokat (szaklapokat, könyveket) ajánlottak a téma mélyebb megismeréséhez.

Irodalomjegyzék

- FARKAS L. (2026): [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=VNWSZQO8SSA&T=294S](https://www.youtube.com/watch?v=vnWSZQo8SSA&t=294s)
- MIHÁLY B.-BOTTA-DUKÁT Z. (2004): *Özönnövények*
- PRISZTER SZ. (1960): Magyarország adventív növényeinek terjedése. A Keszthelyi Mezőgazdasági Akadémia Kiadványai. 7.
- REJMÁNEK M. (1996): A theory of seed, plant invasiveness: the first sketch. *Biological Conservation* **78**: 171-181
- TERPÓ A.-ZAJAC M.-ZAJAC A. (1999): Provisional list of Hungarian archeophytes. *Thaisza* (Kosice) **9**:41-47
- TÖRÖK K.-KUN A. (1997): Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer. IV. Növényfajok. MTA ÖBKI-MTM, Vácrátót-Budapest
- URL1 (2026): <https://net.jogtar.hu/rendelet?docid=99900033.SOP&dbnum=547&council=sopron>

EGY FENÉKKÜSZÖB HATÁSA EGY ÉGERES TALAJVÍZSZINTJÉRE – VÍZPÓTLÁSI ESETTANULMÁNY A HIDEGVÍZ-VÖLGY MINTAVÍZGYŰJTŐBŐL, SOPRON

A water replenishment case study in a riparian alder forest
of the Hidegvíz Valley experimental catchment, Sopron

GRIBOVSZKI ZOLTÁN¹, HERCEG ANDRÁS¹, KALICZ PÉTER¹, KOVÁCS JÚLIA¹,
ZAGYVAINÉ KISS KATALIN ANITA¹

¹Soproni Egyetem¹, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet
gribovszki.zoltan@uni-sopron.hu

Kivonat

Az elmúlt évtizedekben az éghajlat melegebbé és szélsőségesebbé vált, ami a fokozódó párolgás kényszer miatt a vízkészletek, így a talajvízszint csökkenéséhez vezetett a vízfolyásmenti zónákban is. Egy helyi esettanulmány a Sopron melletti Hidegvíz-völgy kutatási vízgyűjtőjén egy lokális vízpótlás hatását mutatja be a Rák-patak vízfolyásmenti zónájában található égeres ökoszisztéma talajvízszintjére. Összesen több mint 20 talajvízfigyelő kútból származó (automatikusan és manuálisan gyűjtött) talajvízszint-adatok elemzésével jellemzően több dm-es talajvízszint-emelkedést figyeltek meg a vízfolyásmenti zónában. A mintavízgyűjtő hosszú távú, hidrológiai monitoring adatbázisának köszönhetően referenciakutak adatainak felhasználásával lehetőség nyílt a vízpótlás kapcsán beálló talajvízszint változás térbeli és időbeli dinamikájának a komplex elemzésére is.

Abstract

In recent decades, the climate has become warmer and more extreme, which has led to a reduction of water resources, including groundwater level depletion of riparian zones due to increased rate of evapotranspiration. A local case study in the Hidegvíz Valley experimental catchment near Sopron shows the effect of local water replenishment work (a simple log weir) on the groundwater level of a riparian zone alder ecosystem along the Rák stream. By analyzing groundwater level data (collected automatically and manually) from a total of more than 20 groundwater monitoring wells, a typical rise in groundwater levels of several decimeters was observed in the riparian zone. Thanks to the long-term hydrological monitoring database of the experimental catchment, it was possible to use data from reference wells to perform a complex analysis of the spatial and temporal dynamics of groundwater level changes associated with water replenishment.

Bevezetés

A változó éghajlati viszonyok miatt egyre gyakrabban és hosszabb ideig tartó aszályokkal kell szembenéznünk (KUMAR ET AL. 2025), ami egyes erdei élőhelytípusok fennmaradását megnehezíti, vagy akár lehetetlenné teszi (FÜHRER 2018), ezért intézkedéseket kell hozni a terület vízmegtartó képességének növelése érdekében.

A vízmegtartás többféle módon is elérhető. A földhasználat megváltoztatása nemzetközi és hazai szinten is az egyik legjobb gyakorlat. Az erdők párolgó felülete általában nagy, ezért több vizet igényelnek, mint a gyepek vagy a szántóföldek, de feltalajuk nagyobb beszívárogató képessége még heves esőzések idején is ritka a felszíni lefolyás a zavartalan erdőterületeken.

A vízmegtartás egy másik lehetséges természetközeli módszere a szezonális vagy állandó kisvízfolyások áramlásának lassítása fenékküszöbök segítségével (GRIBOVSZKI 2020). A kis

rönkgátakkal duzzasztott vízfolyásokból a vízfolyásmenti területek talajvízkészlete pótlódhat, míg gátak nélkül a vízszint alacsonyabb, és általában lecsapoló hatással van a környező talajvízszintre. Jó példa a fenékküszöbök lefolyáslassító hatására a Kaszó Life projekt, ahol a talajvízszintcsökkenés megállítása céljából több mint száz ilyen természetközeli mini duzzasztót létesítettek egy somogyi kisvízfolyásrendszeren (EÖTVÖS-HORVÁTH 2018).

Ebben a tanulmányban egy ilyen természetközeli megoldásként elkészült fenékküszöb hatását elemezték a Hidegvíz-völgy kísérleti vízgyűjtő területén található Rák-patak égererdővel borított partvidékének talajvízszintjére.

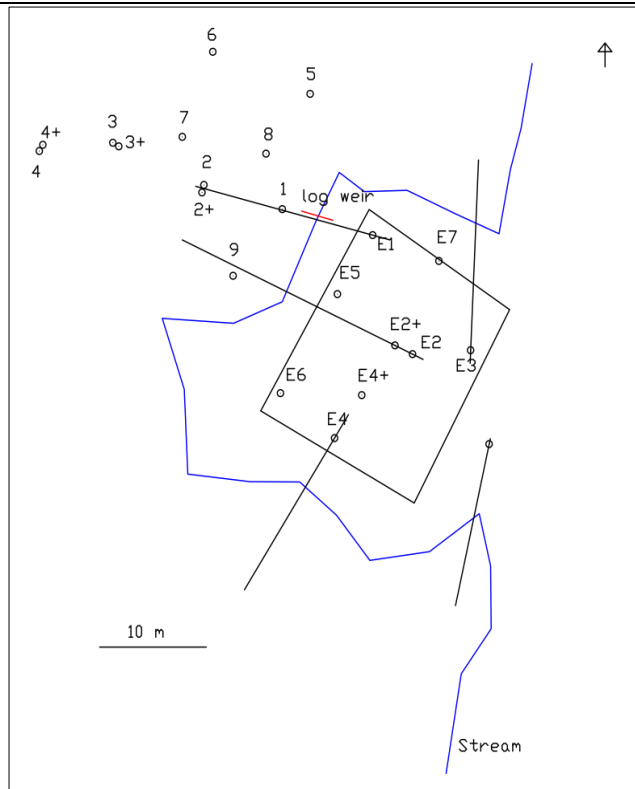
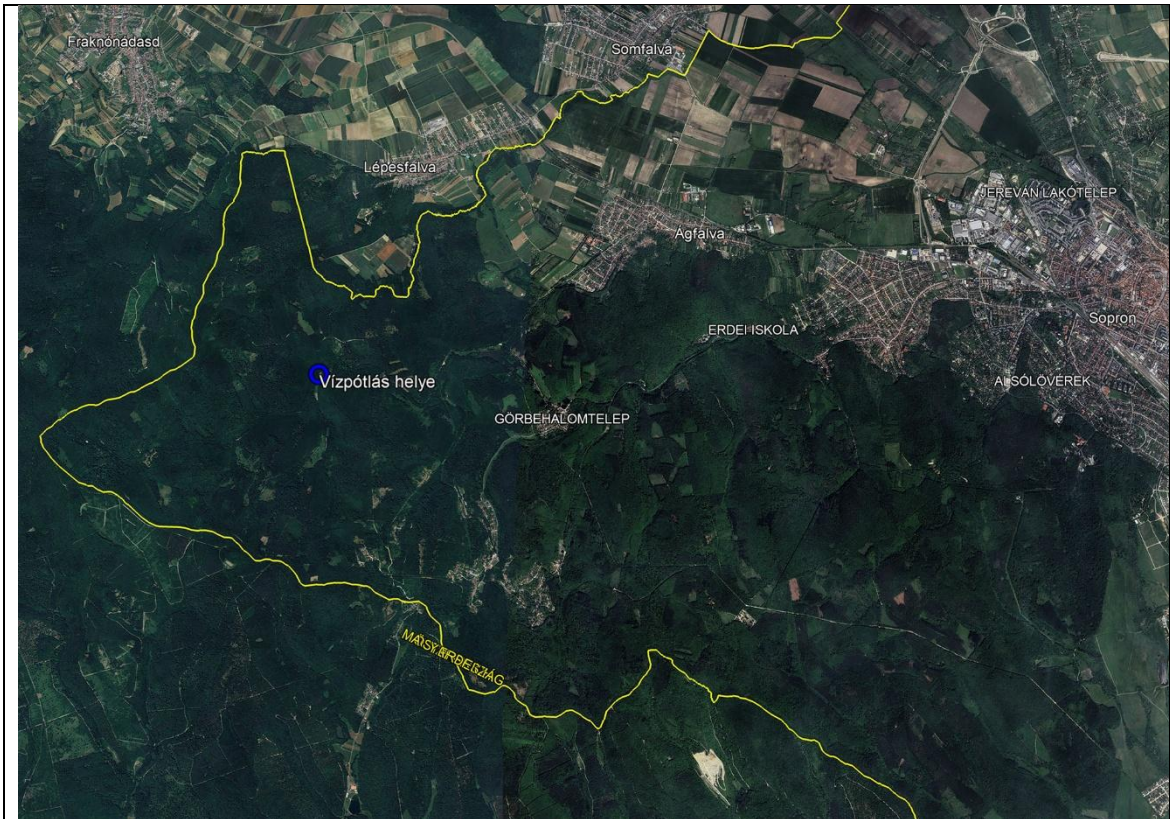
Anyag és módszer

A vizsgálati terület a Hidegvíz-völgy kísérleti vízgyűjtő területén található (Soproni-hegység, Nyugat-Magyarország) (KUCSARA ET AL. 2008).

A víztározó közelében több mint két évtizede működik talajvíz-megfigyelő hálózat (ZAGYVAINE ET AL. 2022). A jelen tanulmány keretében ezt a hálózatot kibővítették (21 talajvízkútra), és néhány kút automatikus vízszint-rögzítővel lett felszerelve (1. ábra).

A talajvízszintet manuálisan hetente 1-2 alkalommal észleltük az összes kútban, de egyes kutakban automata mérőeszközök (Dataqua nyomásérzékelők adatgyűjtővel) is el lettek helyezve, hogy a talajvíztér feltöltődését nagyobb időbeli felbontásban is nyomon követhessük. Jelen tanulmányban csak a manuális észlelések adatai alapján értékeltünk. A fenékküszöb létesítése 2024.06.14.-én kezdődött, de további megerősítésekre volt szükség így 2024.06.21.-én fejeztük be az építésmunkálatokat.

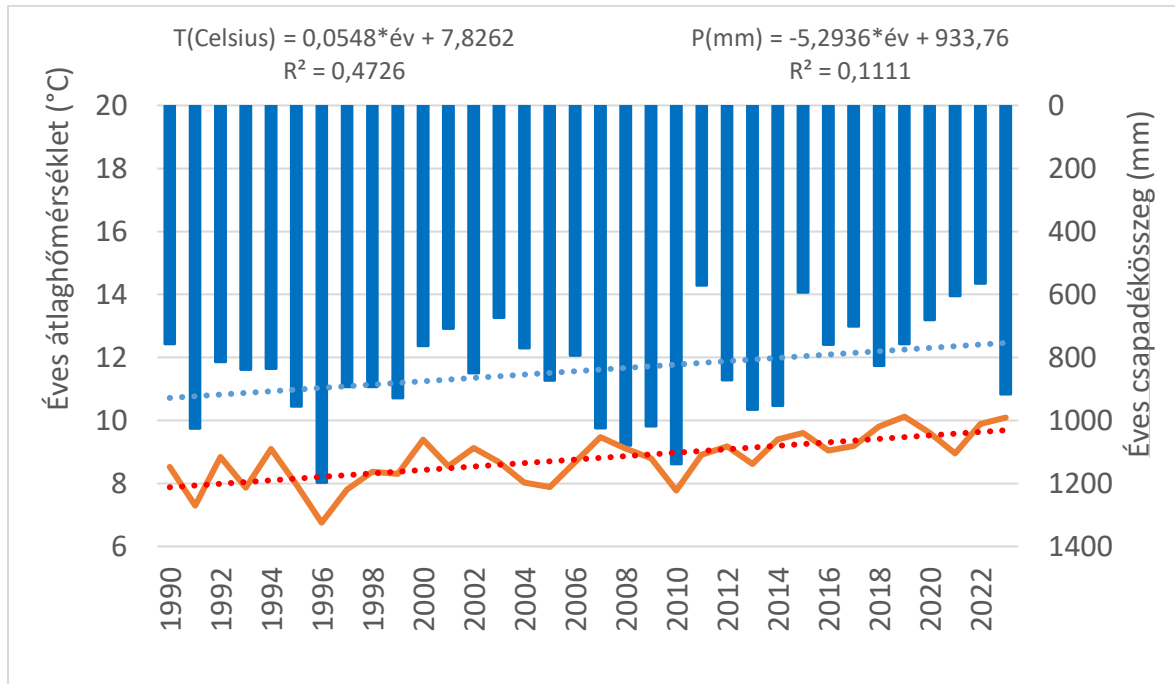
A beavatkozások számszerűsítésére a kontrol kutak módszerét használtuk fel. A kiválasztás kritériuma az volt, hogy a beavatkozás ne idézzon elő vízszintváltozást a kútnál. Az előbbieket alapján a kiválasztott kontrol kút a vizsgálati területen a beavatkozás alvízi oldalán elhelyezkedő 5. számú kút lett (1. ábra). A metodika szerint először kontrol és a beavatkozással érintett kút között hoztunk létre egy mércekapcsolati vonalhoz (KONTUR ET AL. 2003) hasonló statisztikai (regressziós) kapcsolatot a beavatkozás előtti un. kontrol időszakban. A létrehozott egyszerű statisztikai modell (regressziós kapcsolat) alapján a beavatkozás utáni időszakban is becsültük a beavatkozással érintett kút vízszintjét. Ezt követően képeztük a beavatkozással érintett kút valós és modellezett idősorának különbségét, hogy a vízpótlás talajvízpótló hatásának mértékét meghatározzuk.



1. ábra: A kutatási terület elhelyezkedése, a vizpótlás helyszíne (piros vonal, "log weir" felirat) és a talajvíz monitoring hálózat.

Eredmények

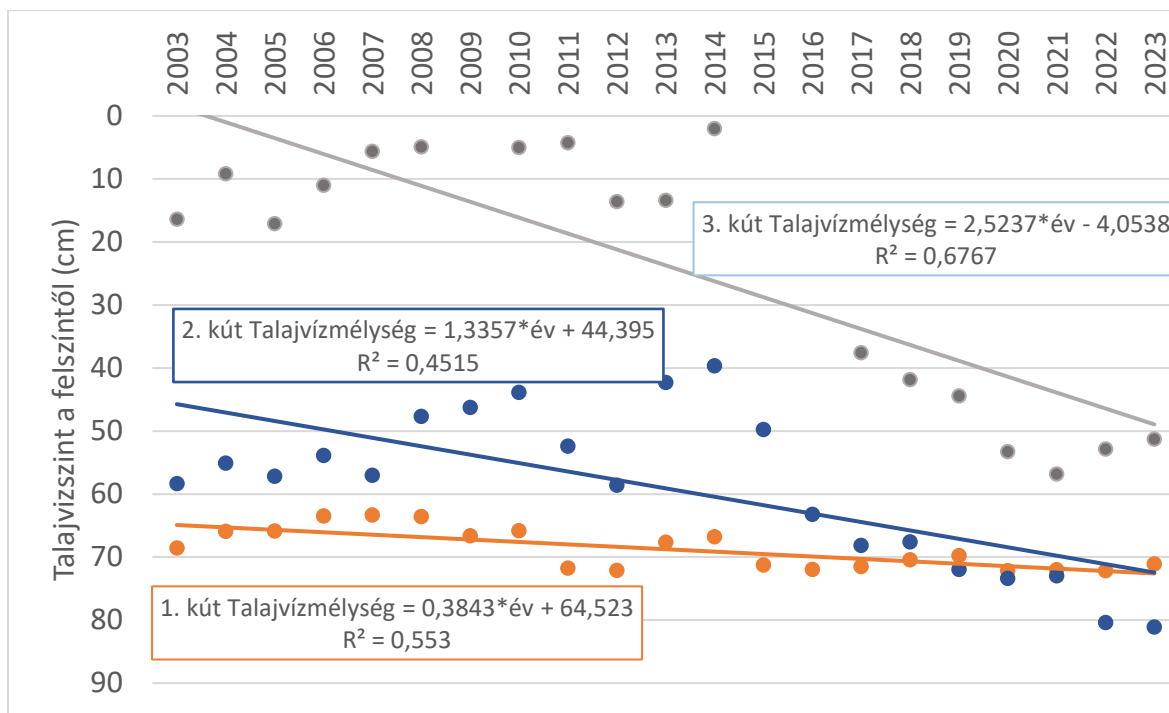
A hidegvíz-völgyben évtizedek óta folyó meteorológiai mérések adatai alapján (a mérési pont a vízpótlás közvetlen környezetében található) melegedés és csapadékcsökkenés jellemző (2. ábra). Az 1990-es évek óta az éves átlaghőmérséklet közel 1,8 Celsius fokot emelkedett trendszerűen (közepes korrelációs, jelentős lineáris kapcsolat). Az éves csapadékösszeg esetében viszont egy kb. 170 mm-es csökkenés jellemző (biztos, de gyenge lineáris kapcsolat).



2. ábra: Az éves középhőmérséklet és az éves csapadékösszeg változása a Hidegvíz-völgyben 1990-óta

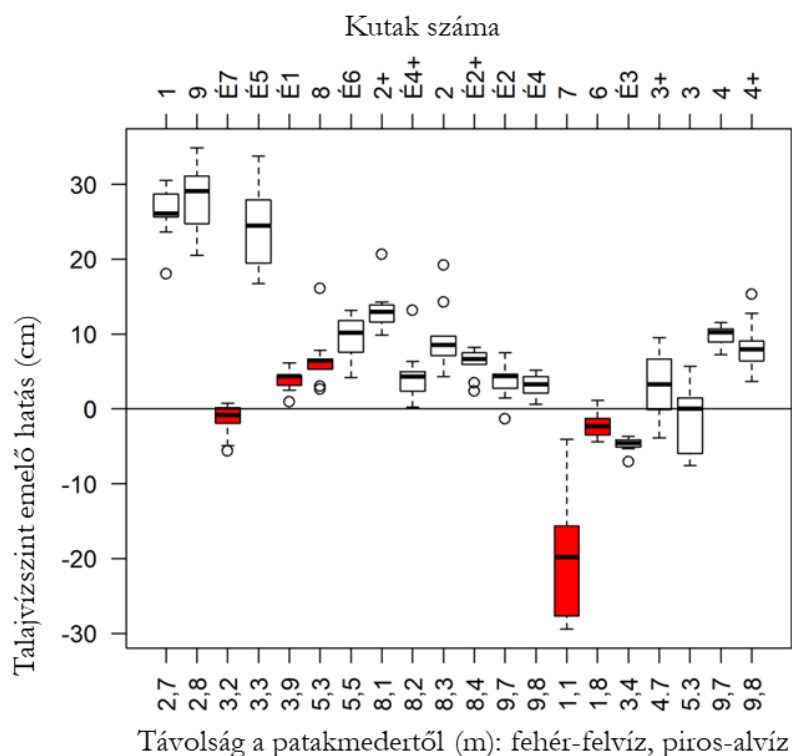
A vízpótlás környezetében működő hosszú távú talajvízmonitoring adatai alapján az utóbbi évtizedekben a talajvízszint több dm-t süllyedt, jellemzően a 2010-es évek közepétől. A csökkenés a patakmedertől távolodva a vízfolyásmenti zónában egyre jelentősebb (3. ábra). A trendek minden esetben szignifikánsak.

A fenékküszöb az építést követően (a 2024.06.21.-i végleges stabilizálás után) kb. 2 óra alatt emelte meg a vízszintet a maximális állandósult értékére a létrehozott új tározótérben. A közvetlenül a patakmeder melletti talajvíz kutakban (1-es és 9-es kút) a talajvízszint emelő hatása 3-4 órán belül érte el maximumát (tehát az új tározó vízszint állandósulását 1-2 órán belül követte a talajvízszint állandósulása). A távolabbi kutaknál a talajvízszint emelő hatás az építést követően kb. 6 óra múlva jelentkezett (tehát az új tározó vízszint állandósulását kb. 4 órán belül követte a talajvízszint állandósulása).



3. ábra: A talajvízmélység hosszútávú változása a vizsgált vízfolyásmenti zónában (az egyes kutak helyei az 1. ábra helyszínrajzán megtalálhatók.)

A beavatkozás hatását a kontrollkutak adatai alapján létrehozott statisztikai modell segítségével becsültük. A talajvízszint emelő hatást a patakmedertől számított távolság alapján ábrázoltuk (4. ábra). A 4. ábra alapján a hatások a felvízi kutaknál szinte minden kútnál egyértelműen kimutathatóak. Az adatok alapján a patakmedertől 7–8 méteres távolságig, míg az ilyen kisméretű fenékküszöbökkel is relatíve jelentősebb talajvízszint-emelkedés érhető el.



4. ábra: Talajvízszint emelő hatás a pataktól vett távolsággal összefüggésben

Következtetések

A kísérlet kimutatta, hogy a kis méretű fenékküszöbök is hatékony vízpótló létesítmények. Bebizonyosodott, hogy kimutathatóan emelik és megtartják a környező területek talajvízszintjét, ami segít a vízfolyásmenti erdőtársulásoknak túlélni a hosszabb aszályos periódusokat.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a143972SNN azonosítószámú OTKA pályázat (NKFIH támogatás), a Slovenian Research and Innovation Agency (N2-0313) pályázata és a kapcsolt TKP2021-NKTA-43 számú projekt támogatta. A TKP2021-NKTA-43 és a 143972SNN számú projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH támogatásával valósult meg. A kutatást az Agrárminisztérium is támogatja.

Irodalomjegyzék

- EÖTVÖS Cs. B., HORVÁTH L. (2018): A szentai-erdő talajvízszint változásai a KASZÓ-LIFE projekt hatására. Erdészettudományi Közlemények 8(2): 17-23. DOI: 10.17164/EK.2018.018
- FÜHRER E. (2018): A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai, Erdészettudományi Közlemények 8(2): 17-23. DOI: 10.17164/EK.2018.018 Közlemények 8 (1): 27-42. DOI: 10.17164/EK.2018.002
- GRIBOVSZKI Z. (2020): Az erdők vízpótlása igények és lehetőségek, Erdészeti Lapok CLV. évf. 4. szám: 115-118 (2020. április) https://erdeszetilapok.oszk.hu/01856/pdf/EPA01192_erdeszeti_lapok_2020_04_115-118.pdf
- KONTUR I. - KORIS K. - WINTER J. (2003): Hidrológiai számítások. LINOGRAPH Kft.
- KUCSARA M. - GRIBOVSZKI Z. - KALICZ P. - VIG P. (2008): A hidegvíz-völgyi erdészeti hidrológiai kutatóhely. Sopron, 2008, p. 25. ISBN 978-963-9883-24-6.
- KUMAR A. – KOTHARI M. - SINGH P. M. - SINGH M. - SHARMA R. K. - MEENA S. S. (2025): Drought: A critical review of different perspectives under changing climate. Science of The Total Environment, Volume 985, 179741, ISSN 0048-9697, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2025.179741](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179741)
- ZAGYVAINÉ K. K. A. - HOLIK B. - NEVEZI Cs. - HERCEG A. - KALICZ P. - GRIBOVSZKI Z. (2022): Groundwater dynamics of a valley location alder forest in the Sopron Hills. (Egy völgyfenéki égeres talajvízdinamikája a Soproni-hegységben), In: Czímber K. (ed.) Scientific publication of the Faculty of Forest Engineering Sopron, Hungary. Soproni Egyetem Kiadó (2022) 297 p. pp. 292-297. <http://publicatio.uni-sopron.hu/2582/1/KariPub2022.pdf>

PRECÍZIÓS TECHNOLÓGIÁK ALKALMAZÁSA A DÖNTÉSTÁMOGATÁSBAN AZ ERDŐFELÚJÍTÁSI GYAKORLATBAN

Application of Precision Technologies for Decision Support in Reforestation Practice

GULYÁS GÁBOR¹, VERŐNÉ WOJTASZEK MAŁGORZATA²

¹Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar Geoinformatikai Intézet

²Vértesserdő Zrt. Dél-Vértesi Erdészeti Igazgatóság

gulyas.gabor@verteserdo.hu

Kivonat

A 21. századi erdőgazdálkodás paradigmaváltás előtt áll, melyet a klímaváltozásból eredő stresszhatások kényszerítenek ki. Jelen tanulmány a precíziós erdőgazdálkodás technológiai eszköztárának alkalmazhatóságát vizsgálja a Dél-Vértess két mintaterületén (Gánt 1 A és Gánt 2 K). A kutatás célja egy olyan operatív döntéstámogató rendszer bemutatása, amely integrálja a nagyfelbontású UAV-alapú multispektrális felméréseket és a Sentinel-2 műholdas adatokat. Az elemzés fókuszában az NDVI és NDMI indexek idősoros vizsgálata, a pixel-alapú varianciafeltárás, valamint a domborzat által vezérelt vízlefolyási modellezés áll. Az eredmények rávilágítanak arra, hogy a centiméteres felbontású adatokkal lehatárolt precíziós beavatkozási zónák lehetőséget teremtenek a költségmegtakarításra és nagyobb felújítási sikert vetítenek előre a hagyományos, homogén területkezelési módszerekkel szemben.

Abstract

Forestry in the 21st century is facing a paradigm shift driven by climate change-induced stress. This study investigates the applicability of precision forestry technologies in two reforestation areas in the South Vértess (Gánt 1 A and Gánt 2 K). The aim is to present an operational decision support system that integrates high-resolution UAV-based multispectral surveys and Sentinel-2 satellite data. The research focuses on the time-series analysis of NDVI and NDMI indices, pixel-based variance discovery, and topography-driven water runoff modeling. The results suggest that precision intervention zones delineated with centimeter-resolution data provide opportunities for cost savings and point toward higher reforestation success compared to traditional, homogeneous management methods.

Bevezetés

Az erdőgazdálkodás a 21. században olyan kihívásokkal néz szembe, mint a klímaváltozás okozta aszálystressz (FÜHRER et al. 2011) és a növekvő faanyagigény, amelyek a hagyományos gazdálkodási modellek újragondolását kényszerítik ki (BERKI et al. 2013). Ebben a környezetben jelenik meg a precíziós erdőgazdálkodás, mint egy új, adatvezérelt menedzsment-filozófia (CZUPY 2023). Míg a tradicionális erdőkezelés homogén egységekként tekint az erdőállományokra, a precíziós megközelítés a belső sokféleséget feltárva helyspecifikus beavatkozásokat tesz lehetővé.

A technológiai alappillérek közül kiemelkedik a távérzékelés, amely a Sentinel-2 műholdcsalád ingyenesen elérhető, nagy időbeli felbontású adataival vált az operatív monitoring alapjává (EURÓPAI UNIÓ 2021). Azonban az erdőfelújítások során tapasztalható belső heterogenitás pontos feltárásához a műholdas adatok gyakran nem elegendőek. Itt kapnak szerepet a pilóta nélküli légi járművek (UAV vagy drónok), amelyek faegyed szintű

információkat szolgáltatnak, rugalmasan bevetethők és centiméteres felbontást biztosítanak (FARKAS – HORVÁTH 2018).

A precíziós erdőgazdálkodás koncepcionálisan a precíziós mezőgazdaságból ered, azonban jelentős különbségek vannak közöttük (MILICS 2015). Míg a mezőgazdaságban az időhorizont rövid (1 éves ciklusok), az erdészetben ez évtizedekre vagy évszázadokra nyúlik vissza. A térbeli komplexitás is jóval magasabb az erdők esetében a 3D-s szerkezet és a több koronaszint miatt. Magyarországon a technológia elterjedése még kezdeti fázisban van, a piaci kereslet hiánya és a magas kezdeti beruházási költségek miatt. Jelen tanulmány célja a technológia gyakorlati hasznának bizonyítása operatív döntéstámogatáson keresztül.

Anyag és módszer

A vizsgálatok a Vértes-hegység déli részén, két mintaterületen zajlottak: a Gánt 1 A (4,14 ha) és a Gánt 2 K (3,44 ha) erdőrészekben. Mindkét terület a Vértes karbonátos kőzetein kialakult barna erdőtalaj (BFÖLD), közepesen mély termőrétanggal és vályog textúrával. Az erdészeti klímaosztály gyertyános-tölgyes (GYT), 350-450 méteres tengerszint feletti magasságban. A Gánt 1 A területet 2023 végén, a Gánt 2 K területet pedig 2024 végén termelték le, így a vizsgálat a felújítási folyamat két eltérő fázisát ölelte fel.

A nagyléptékű vegetáció-monitorozáshoz a Sentinel-2 műholdcsalád adatait használtuk. Az adatok letöltése a QGIS szoftverbe integrált Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) segítségével történt. A vizsgálati időszakot 2025. május 1. és augusztus 31. között jelöltük ki, összesen 13 db felhőmentes felvételt elemezve. A feldolgozás során a vörös (B4), a közeli infravörös (B8) és a rövidhullámú infravörös (B11) sávokra fókuszáltunk. Az elemzés alapját két fő spektrális index képezte, amelyeket egységes struktúrában alkalmaztunk:

- *NDVI (Normalizált Differenciált Vegetációs Index):* A fotoszintetikus aktivitás és a zöld biomassza mennyiségének jellemzésére szolgált (TUCKER 1979). Segítségével számszerűsíthetővé vált a csemeteállomány és a kísérő vegetáció sűrűsége, valamint a fotoszintetikus aktivitás mértéke a vegetációs szezon során.
- *NDMI (Normalizált Differenciált Nedvesség Index):* A levélzet víztartalmának és az aszálystressz mértékének nyomon követésére alkalmaztuk. Ez az index kritikus fontosságú volt a nyári hőhullámok idején, mivel az NDMI értékek csökkenése gyakran megelőzte a klorofill-lebomlás látható jeleit, így korai előrejelzést adott a vízháztartási stresszről.

Az indexeket 10x10 méteres rácsháló mentén mintavételeztük, biztosítva a statisztikai adatok konzisztenciáját a teljes vizsgálati időszakban.

A mikro-léptékű variabilitás feltárásához DJI Phantom 4 Multispectral drónt alkalmaztunk, amely RGB és öt multispektrális sáv rögzítésére képes. A felméréseket 2025. június 19. és július 31. között végeztük el szisztematikusan. A centiméteres pontosságú georeferálást a Lechner Tudásközpont hálózatos RTK technológiája biztosította repülés közben. A nyers felvételek fotogrammetriai feldolgozása Pix4D mapper szoftverrel történt, amelyből geometriailag korrigált multispektrális ortofotókat állítottunk elő. A térbeli összehangolás érdekében a rasztereket 1x1 méteres felbontású referenciahálóra illesztettük QGIS környezetben.

A vegetáció állapotának értékelésére ötfokozatú osztályozási rendszert alakítottunk ki az NDVI és NDMI értékek alapján, melyet az 1. táblázat foglal össze. A precíziós beavatkozási zónák lehatárolásához az NDVI kritikus határértékét határoztuk meg a gyenge és nagyon gyenge kategóriák alapján. A domborzat hatásának vizsgálatához drónalapú Digitális Terpmo-dellt (DTM) készítettünk a pontfelhő talajpontjainak osztályozásával. A hidrológiai

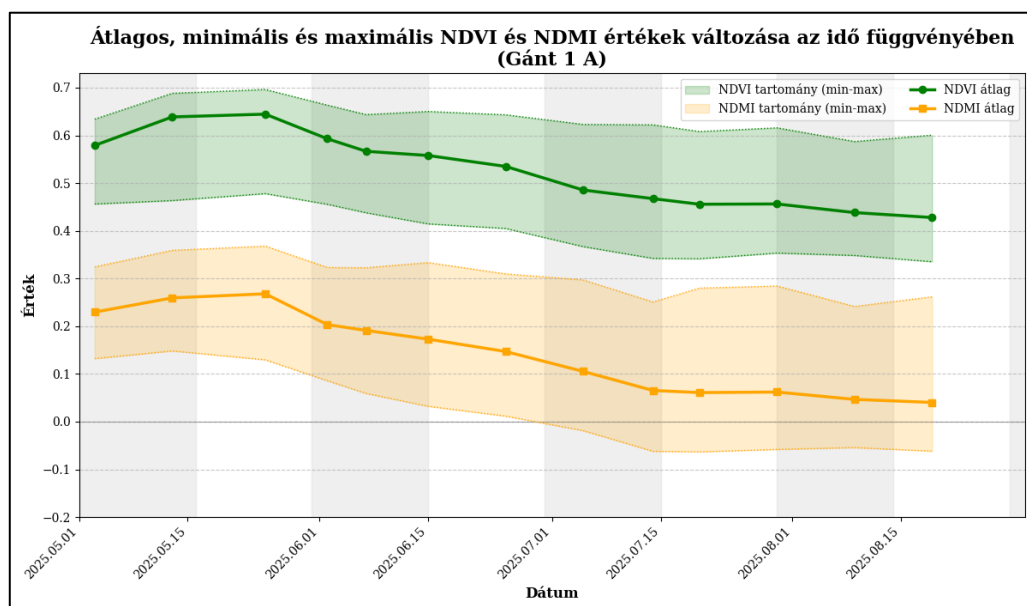
modellezés során a SAGA GIS „Fill Sinks (WANG & LIU)” algoritmusával eltávolítottuk a topográfiai mélyedéseket, majd a vízfolyások nyomvonalát a „Channel Network” algoritmussal határoztuk meg a domborzati viszonyoknak megfelelő küszöbértékek alkalmazásával, feltárva a vízfolyási hálózat és a növényzet állapotának összefüggéseit.

7. táblázat A vegetáció állapotának értékelésére használt osztályozási küszöbértékek

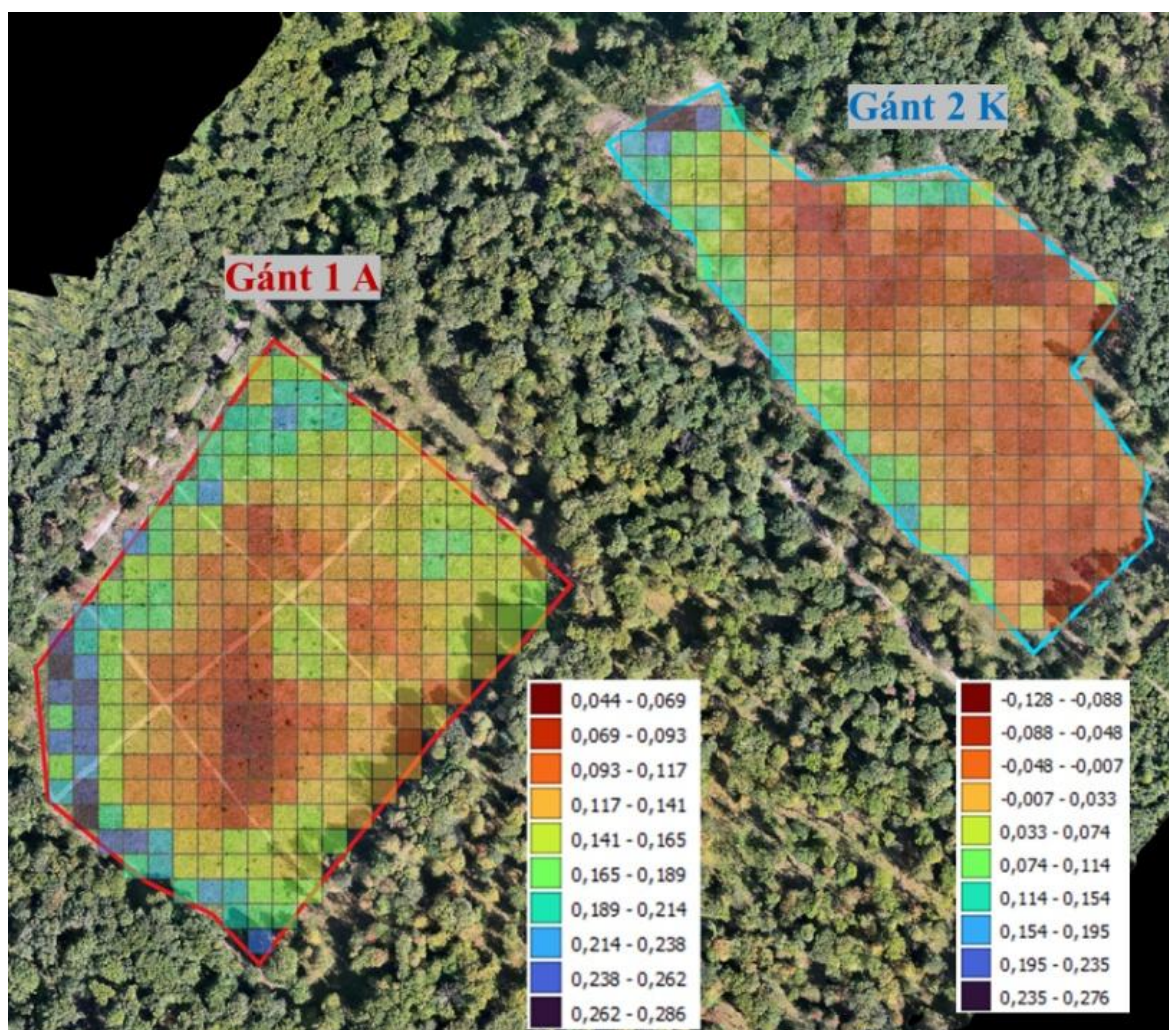
Kategória	NDVI érték	NDMI érték
Nagyon gyenge	< 0,20	< 0,00
Gyenge	0,20 – 0,40	0,00 – 0,20
Átlagos	0,40 – 0,60	0,20 – 0,40
Jó	0,60 – 0,80	0,40 – 0,60
Nagyon jó	> 0,80	> 0,60

Eredmények

A távérzékelési elemzések során nyert eredményeket két léptékben – stratégiai műholdas és operatív UAV szinten – értékeltük, melyek rávilágítottak a felújítási területek belső variabilitására. A 2025. május és augusztus közötti időszakban a Sentinel-2 adatok alapján végzett idősoros elemzés (1. ábra) világosan mutatja a növekedési fázis kezdeti felgyorsulását, majd a nyári klimatikus stressz hatására bekövetkező visszaesést. A tavaszi növekedési csúcs május 25-én következett be, ahol a Gánt 1 A terület NDVI értéke elérte a 0,64-et, míg a vízháztartási állapotát jelző NDMI index 0,27-es értéken tetőzött. A nyári aszály előrehaladtával azonban drasztikus különbségek mutatkoztak: míg az idősebb felújítás (Gánt 1 A) stabilitást mutatott, a fiatalabb Gánt 2 K terület nedvesség-indexe augusztus végére a negatív tartományba (-0,05) zuhant. Ez a negatív NDMI érték a talajfelszín extrém kiszáradását, a lombzat kritikus vízhiányát és a csemeték életképességét közvetlenül veszélyeztető stresszt jelzi, ami a pusztulás előszobájaként értékelhető.



1. ábra: Gánt 1 A mintaterület NDVI és NDMI értékeinek idősoros megjelenítése Sentinel-2 felvételek alapján



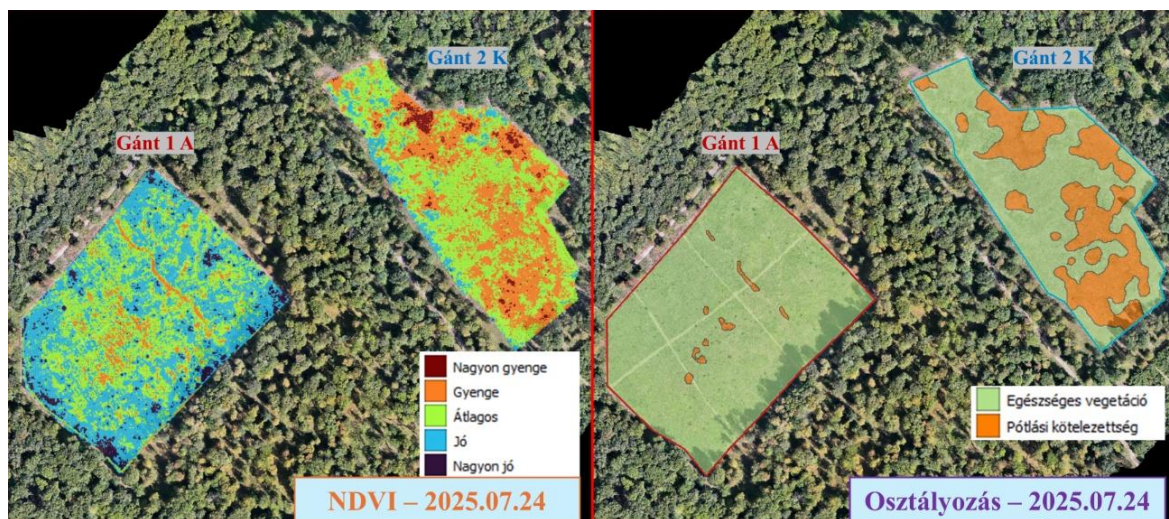
2. ábra: NDMI értékek táblán belüli osztályozása: TELJES vizsgálati időszak átlaga

A teljes vizsgálati időszak átlagolt NDMI értékeinek térképi ábrázolása (2. ábra) markánsan kirajzolta a szomszédos, idős erdőállományok védőhatását, az úgynevezett pozitív élfhatást (*edge effect*). A Gánt 1 A terület déli és nyugati szegélyeinél szisztematikusan magasabb és kedvezőbb nedvesség-értékeket mértünk. Ez az ökológiai jelenség igazolja, hogy az idős erdő által nyújtott részleges árnyékolás és szélvédelem hatékonyan mérsékli a párolgást, mérhetően csökkentve a szezonális vízháztartási stresszt a nyíltabb, belső területekhez képest. Ez a felismerés fundamentális jelentőségű a zónaalapú erdőgazdálkodás tervezésében: a csemeték túlélési esélyei a peremzónákban szignifikánsan jobbak.

Az UAV-alapú felmérések során nyert nagyfelbontású RGB ortofotók (6 cm/pixel) alapvető jelentőségűek a spektrális indexek validálásában és a terület részletes morfológiai vizsgálatában (VERŐNÉ-WOJTASZEK 2018). A 10x10 méteres Sentinel pixel belső tartalmának vizuális analízise rávilágított a léptékkülönbségek okozta információmorzsolódásra.

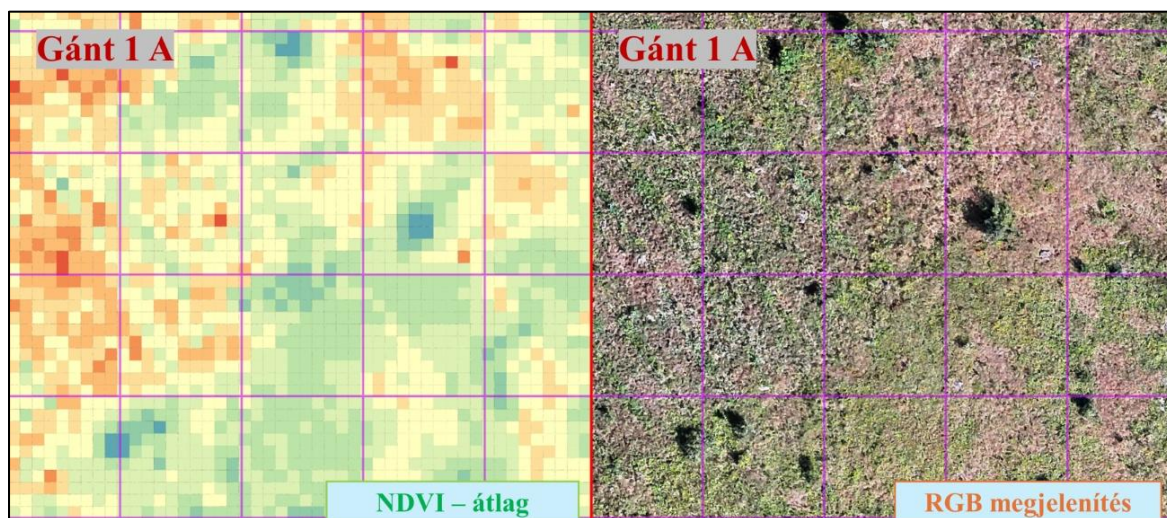
A nagyfelbontású RGB felvételek és az NDVI térképek összevetése (3. ábra) lehetővé tette a felszínborítás típusainak pontos azonosítását. A legalacsonyabb NDVI értéket mutató (piros) foltok az ortofotón egyértelműen élettelen tuskókkal, csupasz talajfelszínnel vagy elhalt növényi maradványokkal azonosíthatók. Ezzel szemben a zöldes árnyalatú részek a lágyszárú és fásszárú növényzet keverékét reprezentálják. Ez a vizuális igazolás bizonyítja, hogy az UAV adatok alkalmasak a valós térbeli variancia feltárására és a precíziós beavatkozások

objektum-szintű tervezésére, ahol a mesterséges tereptárgyak (tuskók) elkülöníthetők az elpusztult vegetációtól.



3. ábra: A Sentinel-2 pixel alatti UAV adatok részletessége:
NDVI átlag és RGB összehasonlítás (Gánt 1 A)

A 2025-ös nyári aszályos csúcspont adatai alapján készített beavatkozási térképek rávilágítottak az erdőrészek közötti drasztikus különbségekre. A zónaazonosítás kulcsfontosságú küszöbértékének az NDVI < 0,40 szintet határoztuk meg, amely a „Gyenge” és „Nagyon gyenge” kategóriákat fedi le. Ez az érték már egyértelműen a komoly vegetációs stresszt, vagy a teljesen csupasz talajfoltokat jelöli.

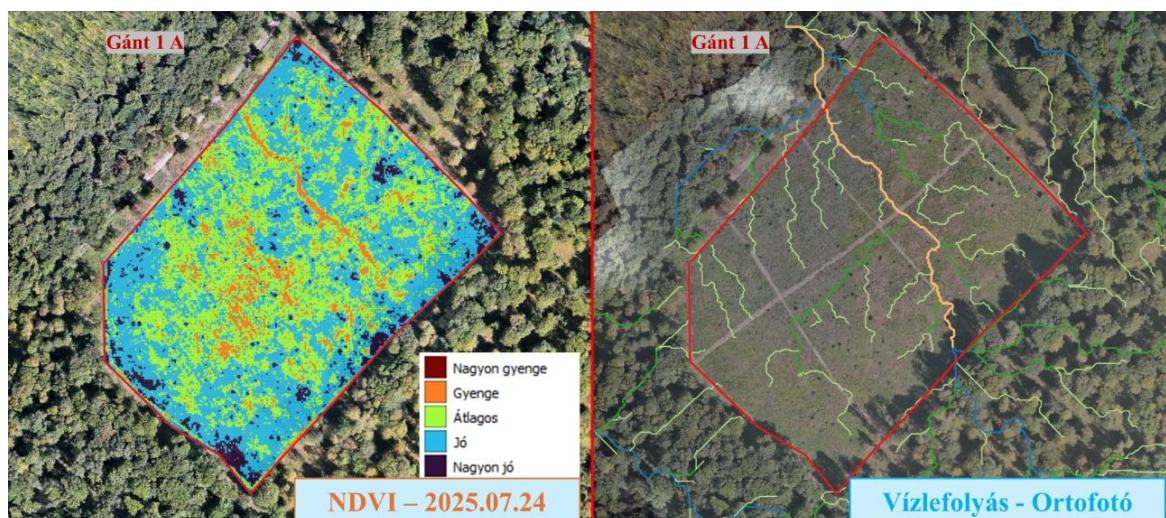


4. ábra: Gánt 1 A és Gánt 2 K részterületek NDVI alapú
vegetációs állapotfelmérése és pótlási osztályozása

A kvantitatív elemzés során a fiatalabb Gánt 2 K területen az aszályos időszakban a teljes felület 38,53%-án (1,22 hektáron) mértünk kritikus NDVI értékeket. Ez a rendkívül magas arány igazolja a terület súlyos sérülékenységét és a nagy belső variabilitást, egyértelművé téve a nagyméretű, foltszerű csemetepótlás szükségességét. Ezzel szemben az egy évvel idősebb Gánt 1 A állományban a pótlásra szoruló területek aránya mindössze 1,28% (0,05 hektár) volt. Itt a kritikus zónák csak elszórtan, kisebb foltokban jelentkeztek, ami az állomány magasabb rezilienciáját támasztja alá.

Az UAV adatokon alapuló komplex hidrológiai modellezés lehetővé tette a domborzat által vezérelt vízvezetési mintázatok precíz feltárását. A modellezett felszíni vízfolyások fő nyomvonala nagy pontossággal illeszkedett azokra a sávokra, ahol a nyári aszály idején a legalacsonyabb NDVI értékeket (gyenge vegetációt) mértük.

Ez az eredmény igazolja azt a feltételezést, miszerint a területen áthúzódó vízmosságok fokozott eróziós hatása lokális, talajszintű szárazságot okoz. Ez a domborzati tényező még az aszályos időszakon belül is extra stresszt jelent a növényzet számára, ami a csemeték pusztulásának egyik fő közvetett oka. A vízfolyási hálózat és az NDVI térkép integrált elemzése így lehetővé teszi, hogy a gazdálkodó a vízmosságok mentén fekvő zónákban céltzottan szárazságtűrőbb fafajokat preferáljon.



5. ábra A vegetáció állapota (NDVI) és a hidrológiai hálózat integrált megjelenítése Gánt 1 A mintaterületen

Következtetések

A kutatás eredményei rávilágítanak arra, hogy a jövő erdőfelújításaiban elengedhetetlen a technológiai alapú döntéstámogatás. A centiméteres felbontású adatokkal lehatárolt precíziós beavatkozási zónák lehetőséget teremtenek a költségmegtakarításra (céltzott pótlás) és nagyobb felújítási sikert vetítenek előre a hagyományos módszerekkel szemben.

Gyakorlati javaslatok:

1. Zónaalapú gazdálkodás: A Gánt 1 A példája alapján a pótlási igény minimális (1,28%), így itt csak céltzott kezelés javasolt, elkerülve a teljes terület felesleges bolygatását.
2. Élhatás kihasználása: Javasolt a hagyásfák tudatos csoportosítása a leginkább sérülékeny belső zónák védelmében, kihasználva a mért klímapiuffer hatást.
3. Módszertani szinergia: A Sentinel-2 adatok alkalmasak a stratégiai monitoringra, de a beavatkozások operatív tervezéséhez elengedhetetlen az UAV-alapú nagyfelbontású validálás.

Az RTK technológia adathidat képez a felmérés és a kivitelezés között, lehetővé téve a digitális ültetési tervek és a gépi sorközművelés összehangolását, ami a fenntartható erdőgazdálkodás alapja.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Vértesserdő Zrt. szakmai támogatásával valósult meg. Külön köszönet illeti az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar Geoinformatikai Intézetének munkatársait a módszertani segítségért.

Irodalomjegyzék

- BERKI I. – RASZTOVITS E. – MÁTYÁS CS. (2013): A klímaváltozás hatása az erdőgazdálkodás gyakorlatára. Erdészettudományi Közlemények 3(1): 5-16.
- CZUPY I. (2023): A precíziós erdőgazdálkodás alapjai és technológiai lehetőségei. Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar Kiadványa, Sopron.
- EURÓPAI UNIÓ – COPERNICUS PROGRAM (2021): Sentinel-2: The Optical Imaging Mission for Land Services. ESA Publications, Noordwijk.
- FARKAS B. – HORVÁTH G. (2018): Pilóta nélküli légitűvekek (UAV) alkalmazási lehetőségei az erdőleltározásban. Erdészeti Lapok 153(5): 142-147.
- FÜHRER E. – JAGODICS A. – HORVÁTH L. – MACHON A. – SZABADOS I. (2011): Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. Időjárás 115(3): 205-216.
- MILICS G. (2015): A precíziós gazdálkodás alapjai. Széchenyi István Egyetem, Győr.
- TUCKER C. J. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment 8(2): 127-150.
- VERŐNÉ-WOJTASZEK M. (2018): Objektumalapú képelemzés alkalmazása erdefenyő állományok egészségi állapotának vizsgálatában. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 45-58.

ERDŐVÉDELMI KERÍTÉSEK TÉRFOGLALÁSA ÉS KARAKTERISZTIKAI JELLEMZŐIK: ADATALAPÚ MEGKÖZELÍTÉS A VERGA ZRT. HERENDI ERDÉSZETÉNEK TERÜLETÉN

Spatial Occupation and Characteristic Features of Forest Protection Fences: A Data-Driven Approach in the Area of VERGA Ltd.'s Herend Forestry Unit

GYENGE DÁNIEL^{1,2}; KOVÁCS MÁRK FERENC¹ ÉS TARI TAMÁS¹

¹ Soproni Egyetem, Vadgazdálkodási és Vadbiológiai Intézet

² VERGA Zrt.

tari.tamas@uni-sopron.hu

Kivonat

Az erdőgazdálkodás és vadgazdálkodás közötti egyik legjelentősebb érdekellentét az erdei vadkárból eredeztethető. A vadkárból adódó konfliktus erősödésével párhuzamosan az erdősítést védő, kerítésekkel elzárt területek nagysága is folyamatosan növekszik. A vizsgálat a VERGA Zrt. Herendi Erdészeti területére terjed ki. Célja a kutatási területre vonatkoztatva bemutatni a kerítések okozta élőhelyszűkülést, továbbá a kerítések egyes karakterisztikai jellemzőit. A felmérés a kerítések rendszeres terepi felvételezésével történt, amelynek során minden kerítésszakasz rögzítésre került a TERI erdészeti applikáció segítségével. A töréspontok dokumentálása és a látható sérülések rögzítése szintén megtörtént. A vizsgálat célja, hogy összefüggések kerüljenek feltárássra a bekerített területeken található fafajok, azok kora és magassági adatai, valamint a kerítésháló sérüléseinek gyakorisága között. A kapott adatok elemzésével a kerítések állapotának és terheltségének értékelése válik lehetővé.

Abstract

One of the most significant conflicts between forest management and game management arises from wildlife damage in forests. As this conflict intensifies, the area of fenced-off zones protecting afforestation has been steadily increasing. The present study focuses on the territory of VERGA Ltd.'s Herend Forestry Unit. Its aim was to demonstrate habitat reduction caused by fencing within the research area and to examine selected characteristic features of the fences. Data collection was conducted through systematic field surveys, during which each fence segment was recorded using the TERI forestry application. Breakpoints and visible damage were also documented. The study seeks to identify correlations between tree species within the enclosed areas, their age and height data, and the frequency of damage to the fence mesh. Analysis of the collected data enables an assessment of the condition and load of the fences.

Bevezetés

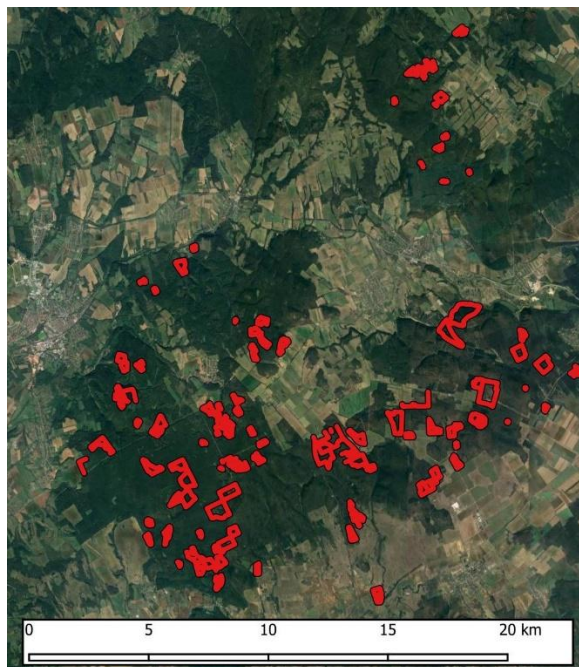
Az erdőgazdálkodás és vadgazdálkodás közötti kapcsolat évtizedek óta meghatározzák az erdei ökoszisztémák állapotát és az erdőfelújítás sikerességét (FREI et al. 2025). A hazai nagyvadfajok állományának utóbbi évtizedekben végbement növekedése (CSÁNYI et al. 2025), és ezzel összefüggésben a nagyvad által okozott rágási, törési és taposási károk gyakoriságának növekedése, erdőfelújításokra és telepítésekre gyakorolt hatása (NÁHLIK et al. 2008, NÁHLIK et al. 2012), valamint az erdők szerkezetének és fafajösszetételének átalakulása (RAMIREZ et al. 2018) együttesen indokolják az erdővédelmi kerítések alkalmazását. A kerítések célja elsősorban a fiatal erdősítések és felújítás alatt álló területek védelme. Ugyanakkor térbeli jelenlétük egyre jelentősebb ökológiai és gazdálkodási kérdéseket vet fel. A bekerített erdőterületek növekvő kiterjedése hatással lehet az élőhelyek átjárhatóságára, a

vad viselkedésére, valamint ezzel együtt az erdőgazdálkodási beavatkozások tervezésére és végrehajtására is (MCINTURFF et al. 2020).

A kerítések védelmi hatékonyságát alapvetően befolyásolja a telepítés minősége, az anyagválasztás, a karbantartás és a különböző sérüléseket okozó külső hatások. A fizikai sérülések, az anyagfáradásból eredő hibák, illetve a vad által okozott rongálások mind olyan problémák, amelyek csökkentik a védelem eredményességét, és növelik az üzemeltetés költségeit. Ezen jelenségek részletes feltárása nélkülözhetetlen a hatékony erdőgazdálkodás folytatása során. A jelen vizsgálat célja a VERGA Zrt. Herendi Erdészetének területén található erdővédelmi kerítések térbeli jellemzőinek, korának és műszaki állapotának átfogó elemzése volt. Annak érdekében, hogy megismerhetővé váljanak azok a tényezők, amelyek leginkább hozzájárulnak a kerítéshibák kialakulásához.

Anyag és módszer

A vizsgált terület Veszprém megyében a Déli-Bakony lábánál helyezkedik el, a Verga Zrt. üzemi területén. A Verga Zrt. herendi erdőszete 15756 hektár nagyságú, melyből az erdővel borított rész 14600 hektár. A terület nagyrésze a Kab-hegy vonzáskörzetében található, melynek határai Padragkút, Öcs, Pula, Nagyvázsony, Úrkút. Ezen kívül a következő településeket is érinti: Kislőd, Városlőd, Szentgál, Herend, Márkó, Bánd. A terület vízrajzát tekintve nincsenek nagyobb állóvizek és nagyobb állandó vízfolyások vizsgálati területen, jobbra patakok és források szolgáltatják a vizet. Éghajlat szempontjából a Bakonyhoz hasonlóan mérsékelt hűvös, nedves terület, a Bakony magasabb részeire jellemző módon. Az éves csapadékmennyiség megközelítőleg kb. 700-800 mm. Az évi középhőmérséklet a vizsgált területen 8,5-10,5 °C. A vizsgálat elvégzéséhez a Verga Zrt. adatbázisai és leltár nyilvántartásai kerültek felhasználásra 2023 évvégéig bezárólag, összesen 127 erdővédelmi kerítésre vonatkoztatva.



1. ábra. Vizsgálatba bevont kerítések

Ezekben az adatbázisokból került kigyűjtésre a kerítés hossza (m), a bekerített terület nagysága (ha) és a telepítés éve, utóbbit felhasználva 2026-ra vonatkoztatva történt meg a kerítés életkorának meghatározása. A bekerített területeken belüli erdőállomány adatai az ESZR (Erdészeti Szakmai Rendszer) segítségével kerültek összegyűjtésre. Megtörtént az egyes

területekhez tartozó főbb erdőállomány adatok rögzítésre, így például a fő fafajok, azok kora és elegyarányuk. A kerítések térképi megjelenítését az ESZR kiegészítő programjában, a TERI-ben (Térinformatikai Rendszer Integráció) végezték el. Minden kerítés terepbejárás során a 2025-ös évben felvételezésre került. A bejárás során a töréspontokhoz GPS-pontokat rögzítve, amelyeket a rendszer folyamatosan összekapcsolt, és a felvételezés során a hibákat is jelölték. A felvételezések befejezését követően meghatározták a kerítések pontos hosszát és a bekerített területek nagyságát. A kerítések erdőrészlet szintű megjelenítésére a QGIS program került alkalmazásra.

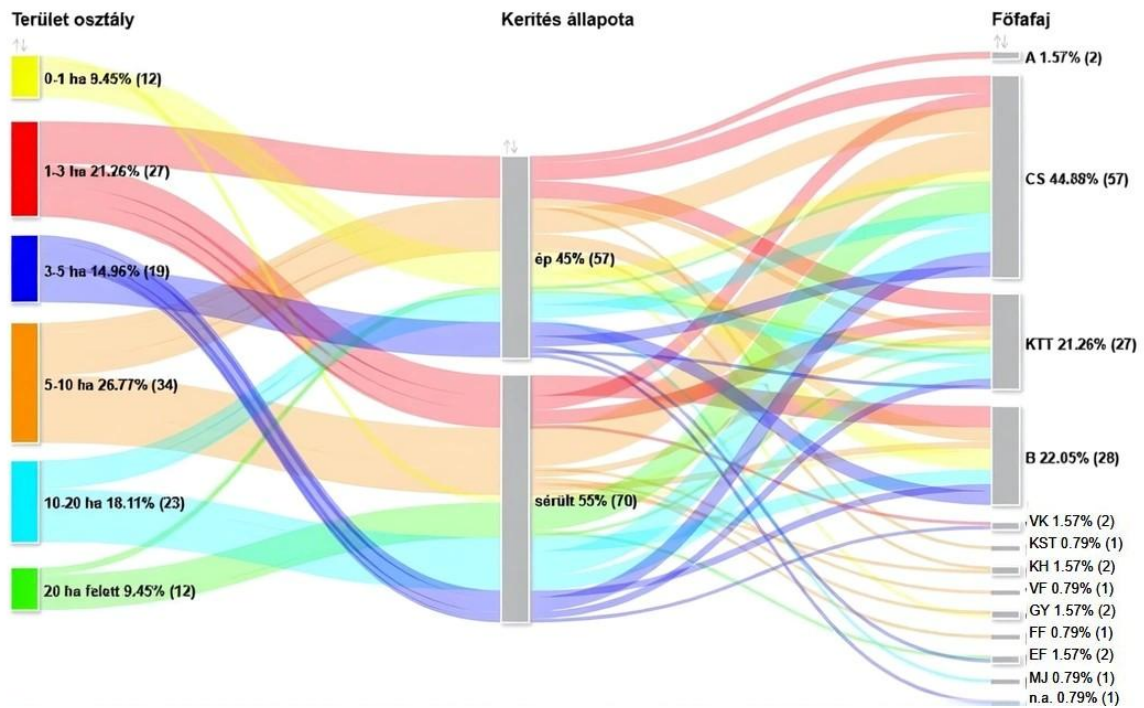
A kerítések ép és sérült kategóriába kerültek besorolásra, utóbbin belül 3 osztály különült el az alábbiak szerint. Az 1. csoportban található a kivitelezési hibák, ide került minden olyan eset besorolásra, ahol például nem volt megfelelően rögzítve a kerítésháló, esetleg a fakitermelést követően nem állították kellő mértékben helyre a háló folytonosságát. A 2. csoportba azok a hibák kerültek, amelyek a telepítést követően alakultak ki, ide került minden olyan hiba, amelyet vad okozott (kerítés lenyomása vagy felhúzása, háló szakadás), illetve amelyek a környezeti hatás következtében történt, pl. fadőlés, vízmosás. Végül a 3. csoportba kerültek azok az esetek, amelyek az idő múlásával keletkeztek, vagyis az, amiket az anyag elhasználódása okozott a kerítés szerkezetében, itt nagyrészt az oszlopok korhadása és kidőlése jelentette a legnagyobb problémát.

Az adatelemzés MS Excel és PAST 5.0 (HAMMER et al. 2001) programokkal történt. A leíróstatisztika során medián és átlagérték standard hibával ($\bar{x} \pm SE$) került megadásra, adatok normalitás vizsgálatot (Shapiro-Wilk teszt) követően, Mann-Whitney U-teszttel kerültek összehasonlításra. Az adatok vizualizációja Sankey diagrammal történt.

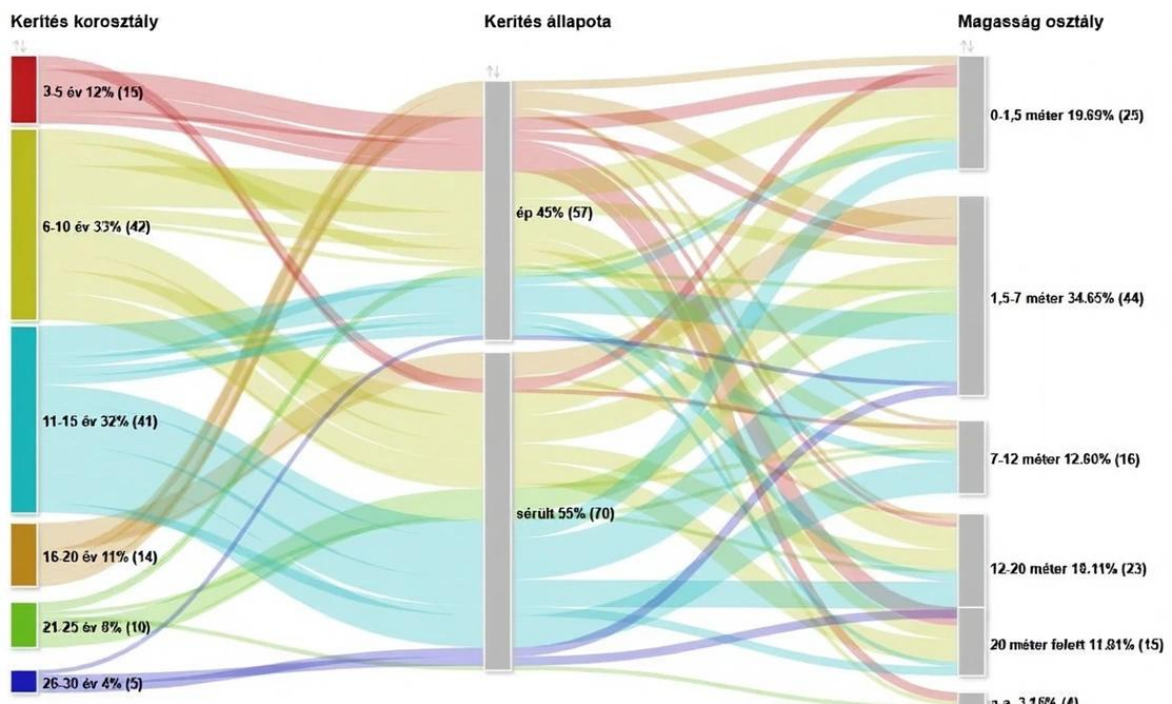
Eredmények

A vizsgálatba mindösszesen 127 kerítés került bevonásra, az ezek által lehatárolt terület nagysága 1100 ha volt, ami azt jelenti, hogy 2023-ban az erdőterületek 7,5%-a volt kerítéssel ellátva. A kerített területek átlagos mérete $8,7 \pm 0,8$ ha, a medián 5,9 ha volt, a területnagyságszerinti eloszlást a 2. *ábra* mutatja be, csakúgy, mint a főfafajszerinti eloszlást. A kerítések hossza összeségében 150.962 méter volt, kerítésenként az átlagos kerület mérete $1188,7 \pm 57,5$ méter volt, a medián 1152 méternek adódott. A kerítések korának mediánja 11 volt, az állományok átlag magassága $8,7 \pm 0,8$ méter volt, mindkét jellemző eloszlását a 3. *ábra* szemlélteti.

A vizsgálat során összesen 70 kerítés esetében volt kimutatható valamilyen hiba, ez a kerítések 55%-át jelentette. Összesen 25 kerítés esetében volt megfigyelhető, hogy 2 vagy 3 hibatípus is egyidőben jelenvolt. A hibákat tekintve az első csoportba tartozó hiba 24 kerítés esetében volt megfigyelhető, előfordulási gyakorisága az összes kerítéshez viszonyítva 18,9% volt. A 2. csoportban tartozó hiba 57 kerítés esetén fordult elő, előfordulási gyakorisága az összes kerítéshez viszonyítva 44,9% volt. Több helyen tapasztalható a fák kidőlése, illetve az ágak hálóra esése, ezek szintén ebben a csoportban figyelhetők meg, az összes esetből ezek a hibák 17 kerítés esetében voltak igazolhatók a terepi szemrevételezés során. A víz által okozott amortizációs károk 5 kerítés esetében voltak megfigyelhetők. A csoportba tartozik a vaddisznó által okozott háló felemelés, illetve a ragadozók által keletkezett kaparás, e hibaformák 14 kerítés esetében fordultak elő. További 14 kerítés esetében fordult elő a szarvas okoztak sérülés (háló lenyomása), a fennmaradó esetekben a vad igazolt jelenléte volt megfigyelhető, egyéb kerítéshibából adódóan. A 3. csoportba tartozó hibákat mutató, elhasználódásból adódó sérüléseket 23 kerítés esetében lehetett megfigyelni, előfordulási gyakorisága az összes kerítéshez viszonyítva 18,1%.



2. ábra. A vizsgálatba bevont kerítések területnagyság és főfaj szerinti eloszlása sérült-ép vonatkozásban Sankey-diagramon



3. ábra. A vizsgálatba bevont kerítések korosztály és állománymagasság szerinti eloszlása sérült-ép vonatkozásban Sankey-diagramon

Az ép és sérült kerítések esetében megtörtént öt vizsgált paraméter (kerítéssel elzárt területnagyság, kerítés hossza, kerítés kora, állomány magassága és állomány kora) összehasonlítása, ezen eredmények alapján, a területnagyság, kerítéshossz, valamint a kerítések kora esetében statisztikailag igazolható volt a két csoport eloszlása közötti különbség. Míg az állományok kora és magassága nem mutatott különbséget.

1. táblázat. Ép és sérült kerítések összehasonlítása különböző paraméterek szerint

	<i>Kerített terület nagysága (ha)</i>	<i>Kerítéshossz (m)</i>	<i>Kerítés kora (év)</i>	<i>Állomány magassága (m)</i>	<i>Állomány kora (év)</i>
<i>ép</i>	5,9±0,7	969±66	10,4±0,7	8,9±1,2	40,3±4,7
<i>sérült</i>	10,9±1,35	1367±83	13,3±0,7	8,5±0,9	43,3±4,4
<i>Mann-Whitney U-teszt</i>	U:1363,5; z:3,058; p=0,002*	U:1331,5; z:3,214; p=0,001*	U:1379; z:2,992; p=0,002*	U:1785; z:0,044; p=0,964 N.S.	U:1779; z:0,757; p=0,448 N.S.

Az 1. táblázat, a 2. és 3. ábra alapján megállapítható, hogy minél régebben telepített egy kerítés, illetve minél hosszabb és nagyobb területet véd a kerítés, annál nagyobb arányban kell annak meghibásodásával számolni. Míg az állomány kora és magassága, továbbá a főfaj típusa nem befolyásolja azt.

Következtetések

A vizsgálat eredményei rámutattak arra, hogy az erdővédelmi kerítések sérülései nem véletlenszerűen jelentkeztek, hanem több tényezővel is mutattak összefüggéseket. A sérült kerítések aránya meghaladta az 50%-ot, ami kiemeli az üzemeltetés és fenntartás jelentőségét. A hibák többsége a telepítést követő időszakhoz vagy a vad hatásához köthető, ami arra utal, hogy a kerítések teljes élettartama alatt folyamatos ellenőrzésre és minél előbbi javításra van szükség. Meg kell említeni továbbá, hogy a kivitelezési hibák aránya sem elhanyagolható, ami a telepítési folyamatok folyamatos nyomon követésének szükségességére utal.

A statisztikai eredmények alapján a kerítések hossza, a bekerített terület nagysága és a kerítések életkora szignifikánsan eltért az ép és sérült kategóriák között. A nagyobb kiterjedésű, idősebb és hosszabb kerítések esetében fokozott figyelmet kell fordítani az ellenőrzésekre. Egyrészt a nagyobb kiterjedés miatt az ellenőrzésekhez szükséges idő megnövekszik, ami a hatékonyság rovására mehet, másrészt a telepítéstől eltelt idő növekedésével fokozottan kell az amortizációból adódó hibákkal számolni. A vad által okozott károk viszonylag magas aránya azt jelzi, hogy a meghibásodás szezontól függetlenül megtörténhet, ezért a rendszeres ellenőrzések különös jelentőséggel bírnak. Emellett a fadó és az időjárás körülményekből eredő sérülések arra utalnak, hogy extrém időjárás események után fokozottan javasolt a haladéktalan ellenőrzés.

Irodalomjegyzék

- CSÁNYI S. – MÁRTON M. – BÓTI SZ. – SCHALLY G. (2025): Vadgazdálkodási Adattár - 2024/2025. vadászati év. *MATE VTI, Országos Vadgazdálkodási Adattár, Gödöllő, 70 pp.*
- FREI E.R. – CONEDERA M. – BEBI P. – ZÜRCHER S. – BAREISS A. – RAMSTEIN L. – GIACOMELLI N. – BOTTERO A. (2025): *High potential but little success: Ungulate browsing increasingly impairs silver fir regeneration in mountain forests in the southern Swiss Alps.* *Forestry*, 98(2), 194–203. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpae028>
- HAMMER Ø. – HARPER D.A.T. – RYAN P.D. (2001): Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.*, 4(1), 9.
- MCINTURFF A. – XU W., WILKINSON C.E. – DEJID, N. – BRASHARES, J.S. (2020): Fence ecology: Frameworks for understanding the ecological effects of fences. *BioScience*, 70(11), 971–985. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa103>
- NÁHLIK A. – DREMEL L. – SÁNDOR GY. – TARI T. (2012): A csemetekori vadrágás következményeinek vizsgálata rudas állományokban, *Erdészettudományi Közlemények 2.*:163-172
- NÁHLIK A. – SÁNDOR GY. – TARI T. (2008): Vadkárok az erdőgazdaságban, *Alföldi Erdőkért Egyesület Kiadványa „Tudományos eredmények a gyakorlatban”*, p. 23-33.
- RAMIREZ J.I. – JANSEN P.A., – POORTER L. (2018): Effects of wild ungulates on the regeneration, structure and functioning of temperate forests: A semi-quantitative review. *Forest Ecology and Management*, 424, 406–419. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.016>

NONSTOP SZOLGÁLAT? - A HIVATÁSOS VADÁSZ FOGLALKOZTATÁSÁNAK GYAKORLATI JOGI PROBLÉMÁI

Nonstop duty? – Practical legal issues related to the employment of professional hunters

HÁRS BORBÁLA¹, MAROSÁN MIKLÓS², FRANK NORBERT³

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola

²Állatorvostudományi Egyetem, Egzotikusállat- és Vadegészségügyi Tanszék

³Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdő- és Természeti Erőforrás-Gazdálkodási Intézet
ugyved@drharsborbala.com

Kivonat

A vad védelméről, a vadgazdálkodásról, valamint a vadászatról szóló 1996. évi LV. törvény (a továbbiakban: Vtv.) alapján jelenleg valamennyi vadászatra jogosult köteles legalább egy hivatásos vadászt alkalmazni, aki a tevékenységét munkaviszonyban látja el. A hivatásos vadász munkaviszonyára a Vtv. alapján a munka törvénykönyvéről szóló 2012. évi I. törvényt (a továbbiakban: Mt.) rendelkezéseit szükséges alkalmazni a Vtv.-ben foglalt eltérésekkel, így a hivatásos vadászt is megilletik az Mt. alapján a munkavállalót megillető jogok, úgy mint a napi pihenőidő, heti pihenőnap, a bérpótlék, a fizetett szabadság. Felmerül azonban a kérdés, hogy a gyakorlatban mennyire tarthatóak be a munkajogi szabályok e munkakör ellátása során figyelemmel annak sajátosságaira.

Abstract

Based on Act LV of 1996 on the hunting (hereinafter: Hunting act), all hunting associations are currently required to employ at least one professional hunter who performs his or her activities under an employment relationship. Pursuant to the Hunting Act, the provisions of Act I of 2012 on the Labor Code (hereinafter: Labor Code) shall apply to the employment relationship of professional hunters, with the exceptions specified in the Hunting Act, thus professional hunters are also entitled to the rights of employees under the Labor Code, such as daily rest periods, weekly rest days, wage supplements, and paid leave. However, the question arises as to how feasible it is in practice to comply with Labor Law regulations in this line of work, given its specific characteristics.

Bevezetés

A vadászatra jogosult a vad védelméről, a vadgazdálkodásról, valamint a vadászatról szóló 1996. évi LV. törvény (a továbbiakban: Vtv.) hatályos rendelkezései alapján köteles legalább egy hivatásos vadászt alkalmazni, amely kötelezettség alól kizárólag a vadászati hatóság adhat felmentést meghatározott jogszabályi feltételek mellett.

A hivatásos vadász feladataira, jogaira és kötelezettségeire vonatkozóan részletes szabályokat tartalmaz a Vtv., valamint a vadászatra jogosult a vad védelméről, a vadgazdálkodásról, valamint a vadászatról szóló 1996. évi LV. törvény végrehajtásának szabályairól szóló 79/2004. (V.4.) FVM rendelet (a továbbiakban: Vtv. Vhr.), továbbá a Vtv. a hivatásos vadász jogállására vonatkozóan is konkrét szabályokat fogalmaz meg akkor, amikor az 50. § (4) bekezdés kimondja, hogy a hivatásos vadász tevékenységét munkaviszonyban, teljes napi munkaidőben köteles ellátni.

A természet viszont nem úgy működik, mint a jog. Ahogy nem lehet megmondani a vadnak, hogy melyik vadászterületen mozogjon, azt sem lehet szabályozni, hogy a vad tevékenysége

kizárólag a napi munkaidő tartamára korlátozódjék, ahogy az egyéb természeti folyamatokat sem lehet időhöz korlátozni.

A hivatásos vadász munkája pedig ezen természeti folyamatokhoz is kötött, így felmerül a kérdés, hogy a munkajogi szabályok alkalmasak-e a hivatásos vadász munkaviszonyának rendezésére, egyáltalán betarthatóak-e a hivatásos vadász vonatkozásában e rendelkezések.

Hogyan lehet egyáltalán meghatározni a hivatásos vadász napi munkaidejének kezdő és befejező időpontját? Van-e lehetőség a rendkívüli munkaidő, azaz közismertebb nevén a túlóra elszámolásának? Betartásra kerül-e a napi pihenőidőre és a pihenőnapra vonatkozó szabályok? Vagy pedig a hivatásos vadász tevékenysége valójában egy nonstop szolgálat?

Jelen tanulmány egyfajta problémafelvetést szolgál, amelyben vizsgálat tárgyává tesszük a hivatásos vadász jogállásának szabályait, a munkajog legfontosabb fogalmait, valamint azok alkalmazhatóságát a hivatásos vadász munkaviszonyával kapcsolatban.

A kutatás során leginkább a jogszabályi rendelkezésekre tudunk hagyatkozni, mivel munkánkat nehezítette, hogy a hivatásos vadász munkaviszonyával kapcsolatos problémafelvetésről rendkívül szűkösen áll rendelkezésre szakirodalom, valamint bírósági gyakorlat.

A hivatásos vadász jogállása

Annak érdekében, hogy a hivatásos vadász munkaviszonyával kapcsolatos felvetéseket meg lehessen vizsgálni, mindenekelőtt szükséges áttekinteni a hivatásos vadász jogállására vonatkozó szabályokat, erről a Vtv. rendelkezik.

A Vtv. 50. § (3) bekezdése értelmében a vadászatra jogosult vadászterületenként legalább egy hivatásos vadászt alkalmaz. A vadászatra jogosult a négyezer hektárt meghaladó vadászterület esetében minden megkezdett négyezer hektár után egy hivatásos vadászt alkalmaz.

A Vtv. 50. § (4) bekezdése kimondja azt is, hogy a hivatásos vadász tevékenységét munkaviszonyban, teljes napi munkaidőben végzi. Az általános teljes napi munkaidőnél rövidebb teljes napi munkaidőben, illetve részmunkaidőben a hivatásos vadász a tevékenységét nem végezheti.

A Vtv. 50. § (6) bekezdése értelmében a hivatásos vadász tevékenységének munkaviszonyban történő ellátására a munka törvénykönyvéről szóló 2012. évi I. törvényt (a továbbiakban: Mt.) Vtv.-ben meghatározott eltéréssel kell alkalmazni.

A hivatásos vadász a Vtv. 50. § (7) bekezdése szerint kizárólag egy vadászatra jogosult alkalmazásában állhat.

Azt is megtudhatjuk a Vtv. 51. § (1) bekezdéséből, hogy a hivatásos vadász rendészeti feladatokat ellátó személy, továbbá a Vtv. 55. §-a értelmében a hivatásos vadász a Büntető Törvénykönyvről szóló 2012. évi C. törvény (a továbbiakban: Btk.) szempontjából közfeladatot ellátó személynek minősül.

A Vtv. részletes tájékoztatást ad továbbá a hivatásos vadász jogairól és kötelezettségeiről egyaránt (Vtv. 53. § - 54. §), azonban a munkaviszonyára vonatkozó egyéb szabályokat a fentebb említetteken kívül a Vtv. nem tartalmaz. Áttekintve a Vtv. Vhr. rendelkezéseit megállapítható, hogy a hivatásos vadász munkaviszonyával kapcsolatban nem találunk benne rendelkezéseket.

A munkajog általános szabályai

Ahhoz, hogy a hivatásos vadász foglalkoztatásával felmerülő problémákat megvizsgálhassuk, szükséges áttekinteni a munkajog több alapfogalmát, valamint általános szabályait, mivel a Vtv. 50. § (6) bekezdése alapján e szabályokat szükséges alkalmazni a hivatásos vadász munkaviszonyával kapcsolatban is.

A munkajogi fogalmak körében először azt szükséges tisztázni, hogy egyáltalán mi a munkaviszony. E fogalmat a hatályos Mt. nem tartalmaz, azonban az Mt. 42. § (1)-(2) bekezdésekkel gyakorlatilag definiálja a munkaviszonyt azzal, hogy meghatározza kik a felek a munkaviszonyban és mik a kötelezettségeik. (Sipka-Zaccaria, 2019)

Az Mt. 42. § (1) és (2) bekezdése alapján tehát a munkaviszony munkaszerződéssel jön létre, amely alapján a munkavállaló köteles a munkáltató irányítása szerint munkát végezni, a munkáltató pedig köteles a munkavállalót foglalkoztatni és munkabért fizetni.

A hivatásos vadász a Vtv. korábban hivatkozott rendelkezése szerint a tevékenységét teljes napi munkaidőben köteles végezni, azonban felmerülhet a kérdés, hogy ez pontosan mit is jelent? Erre a kérdésre is az Mt. ad nekünk választ és meg kell vizsgálni azt, hogy mit jelent egyáltalán a munkaidő, mi tartozik bele a munkaidőbe és mi nem, továbbá hogyan lehet definiálni a pihenőidőt.

Az Mt. 86. § (1) bekezdése úgy fogalmaz, hogy a munkaidő a munkavégzésre előírt idő kezdetétől annak befejezéséig tartó idő, valamint a munkavégzéshez kapcsolódó előkészítő és befejező tevékenység tartama. Előkészítő vagy befejező tevékenységnek számít minden olyan feladat ellátása, amelyet a munkavállaló munkaköréhez kapcsolódóan, szokás szerint és rendszeresen, külön utasítás nélkül köteles elvégezni [Mt. 86. § (2) bekezdés]. Azonban nem számít bele a munkaidőbe az Mt. 86. § (3) bekezdése értelmében – a készenléti jellegű munkakört kivéve – a munkaközi szünet, továbbá a munkavállaló lakó- vagy tartózkodási helyéről a tényleges munkavégzés helyére, valamint a munkavégzés helyéről a lakó- vagy tartózkodási helyére történő utazás tartama.

A napi munkaidő lehet a felek vagy munkaviszonyra vonatkozó szabály által meghatározott teljes napi munkaidő vagy részmunkaidő [Mt. 88. § (1)]. Említést érdemel továbbá az, hogy mi a beosztás szerinti napi munkaidő, valamint a beosztás szerinti heti munkaidő. A beosztás szerinti napi munkaidő a munkanapra elrendelt rendes munkaidőt jelenti, a beosztás szerinti heti munkaidő pedig a hétre elrendelt rendes munkaidő [Mt. 88. § (2)-(3)].

Itt el is érünk a teljes napi munkaidő tartamához, amely az Mt. 92. § (1) bekezdése alapján napi nyolc óra. A napi nyolc óra legfeljebb napi tizenkét órára emelhető, azonban erre kizárólag a felek megállapodása alapján és akkor van lehetőség, ha a munkavállaló készenléti jellegű munkakört lát el, vagy a munkavállaló a tulajdonos vagy munkáltató hozzátartozója.

Ahhoz, hogy a hivatásos vadász munkaviszonyával kapcsolatos problémákat vizsgálhassuk, szükséges tisztázni a munkaidő-beosztásra, és a pihenőidőre vonatkozó rendelkezéseket is. A munkaidő-beosztást az Mt. másnéven munkarendnek nevezi, amelyet a munkáltató jogosult megállapítani az Mt. 96. § (1) bekezdése értelmében. Lehetőség van arra is, hogy a munkáltató írásban átengedje a munkavállaló részére a munkaidő beosztásának jogát figyelemmel a munkavégzés önálló megszervezésére, ezt nevezi az Mt. kötetlen munkarendnek [Mt. 96. § (2)].

A munkáltató az általános munkarend alkalmazása esetén a munkaidőt heti öt napra osztja be, amely hétfőtől péntekig tart [Mt. 97. § (2)]. Viszont, ha a munkáltató munkaidőkeret vagy elszámolási időszak alkalmazásával határozza meg a munkarendet, akkor a munkaidő egyenlőtlenül is beosztható [Mt. 97. § (3)].

A munkáltatónak a munkavállaló részére biztosítania kell, hogy a napi munka befejezése, és a következő munkanapi munkakezdés között legalább egybefüggő tizenegy óra pihenőidő elteljen, ezt nevezi a munkajog napi pihenőidőnek [Mt. 104. § (1)]. Szükséges továbbá hetenként két pihenőnapot beosztani a munkavállaló részére az Mt. 105. § (1) bekezdése értelmében.

Szót kell ejteni arról is, hogy mi számít rendkívüli munkaidőnek, amely a köznyelvben túlóra néven vált ismertté, ezt az Mt. 107. §-a szabályozza. Az Mt. hivatkozott rendelkezése szerint rendkívüli munkaidőnek a munkaidő-beosztástól eltérő, a munkaidőkereten felüli, az elszámolási időszak alkalmazása esetén az ennek alapjául szolgáló heti munkaidőt meghaladó munkaidő, valamint az ügyelet tartama számít.

A munkáltatónak az Mt. 134. § (1) bekezdése alapján kötelezettsége nyilvántartani a rendes és rendkívüli munkaidő, a szabadság, a készenlét tartamát, amelynek az Mt. 134. § (2) bekezdése értelmében naprakészen megállapíthatónak kell lennie a teljesített rendes és rendkívüli munkaidőnek, valamint a készenlét kezdő és befejező időpontjának is.

A munkavállalót az Mt. 115. § (1) bekezdése értelmében a munkában töltött idő alapján minden naptári évben jár szabadság, amely alap- és pótszabadságból áll. Az alapszabadság mértéke húsz munkanap, a pótszabadság mértéke pedig a munkavállaló életkorának függvénye [Mt. 116. §, Mt. 117. § (1)]

Egy rendkívül fontos munkajogi szabályra szükséges kitérni ahhoz, hogy a hivatásos vadász foglalkoztatásával kapcsolatos jogi problémákat feltárhassuk, ez pedig nem más, mint a munkáltató írásbeli tájékoztatási kötelezettsége. Az Mt. 46. § (1) bekezdése alapján ugyanis a munkáltató a munkaviszony kezdetétől számított hét napon belül írásban köteles tájékoztatni a munkavállalót többek között a munkaviszony kezdetéről és tartamáról, a munkahelyről, a munkakörbe tartozó feladatokról, a napi munkaidő tartamáról, a hét azon napjairól, amelyekre munkaidő osztható be, a beosztás szerinti napi munkaidő lehetséges kezdő és befejező időpontjáról, a rendkívüli munkaidő lehetséges tartamáról, a munkáltató tevékenységének sajátos jellegéről, a munkabérről való elszámolás módjáról, a munkabérfizetés gyakoriságáról, a kifizetés napjáról, az alaphéren túli munkabérről és egyéb juttatásról, a szabadságnapok számáról, számítási módjáról és kiadásának szabályairól [Mt. 46. § (1)].

A hivatásos vadász foglalkoztatásával kapcsolatos gyakorlati problémák áttekintése jogesetelemzéssel

Mint ahogy azt fentebb kifejtettük, a vadászatra jogosult legalább egy hivatásos vadászt köteles foglalkoztatni, amely tevékenységet a hivatásos vadász munkaviszony keretében köteles ellátni teljes napi munkaidőben, amely nem lehet kevesebb az általános teljes napi munkaidőnél. A hivatásos vadász munkaviszonyára egyebekben az Mt. rendelkezései az irányadók a Vtv.-ben foglalt eltérések figyelembevételével.

Megfigyelve a Vtv. hivatásos vadász munkaviszonyára vonatkozó rendelkezéseket azt állapíthatjuk meg, hogy a munkaidőre vonatkozó kikötésen, valamint azon túl, hogy a hivatásos vadász kizárólag egy vadászatra jogosultnál láthat el tevékenységet, egyéb szabályt a Vtv.-ben nem találunk a hivatásos vadász munkaviszonyával kapcsolatosan. Tehát minden egyéb kérdést illetően az Mt. szabályait szükséges figyelembe venni, amely súlyos gyakorlati problémákat vet fel.

Az Mt. szabályozza, hogy a munkaszerződésnek milyen kötelező tartalmi elemei vannak. Az Mt. 45. § (1) bekezdése szerint a munkaszerződésben szükséges megállapodni a munkavállaló alaphéren és munkakörében, ez még nyilvánvalóan nem jelent problémát a hivatásos vadász munkaviszonyát illetően. Ugyan a munkahely megjelölése a munkaszerződésben nem kötelező, azonban mégis bevett gyakorlat, hogy azt is rögzítik a felek a

munkaszerződésben. (Petrovics Szerk., 2025) Megállapodás hiányában pedig a munkakörben szokásos munkavégzési helyet kell tekinteni munkahelynek. [Mt. 45. § (2), Petrovics Szerk. 2025]

Mivel a munkahely megjelölése tekintetében nem találunk külön rendelkezést a Vtv.-ben, sem a Vtv. Vhr.-ben, a Vtv. 50. § (3) bekezdéséből tudunk kiindulni, tehát a munkavégzés helyének a vadászatra jogosult teljes vadászterülete tekintendő, amennyiben a vadászterület nem haladja meg a négyezer hektárt. Mivel a Vtv. 50. § (3) bekezdése szerint minden megkezdett négyezer hektár után egy hivatásos vadászt kötelező alkalmazni, így ebből az a következtetés vonható le, hogy a négyezer hektárt meghaladó területű vadászterületek esetén a hivatásos vadász munkavégzésének helye a vadászterület arányos része. A hivatásos vadász legfőbb feladata az, hogy biztosítsa a vadgazdálkodás szakszerűségét, valamint a vadászati tevékenység jogszerűségét [Vtv. 53. § (1)]. Ezt a tevékenységet, és az ehhez kapcsolódó azon részfeladatokat, amelyek a munkakörbe tartoznak tehát a hivatásos vadásznak egy igen nagy területen szükséges elvégeznie, így a hivatásos vadász munkakörébe tartozó feladatok ellátása rendkívül sok utazással járhat.

Láthattuk azonban az Mt. általános szabályainak áttekintése során, hogy a munkaidőbe nem tartozik bele a munkavállaló lakó- vagy tartózkodási helyéről a tényleges munkavégzés helyére, valamint a munkavégzés helyéről a lakó- vagy tartózkodási helyére történő utazás tartama. Felmerül tehát a kérdés, hogy a hivatásos vadász esetében mikortól tekinthetjük azt, hogy „beért a munkahelyére”? A Vtv. 8. § (2) bekezdése szerint nem minősül vadászterületnek többek között a település közigazgatási belterülete, a tanya, lakóingatlanul szolgáló bekerített külterületi ingatlan. Feltéve, hogy a hivatásos vadász lakóhelye e három terület valamelyikén helyezkedik el, a vadászterület határának átlépésével már megérkezik a munkavégzésének helyére, tehát a vadászterületen történő további utazással eltöltött idő már beletartozik a munkaidőbe? Vagy pedig az első napi feladat elvégzésének konkrét helyszínére történő megérkezéssel kezdődik a munkaidő, és az utazási idő nem tartozik bele a munkaidőbe? Amennyiben a napi első feladat helyszíne több órányi utazásra található a hivatásos vadász lakóhelyétől, és ez a második értelmezés tekintendő megfelelőnek, egyáltalán elvárható-e, hogy az általános napi munkaidején túl a hivatásos vadász több órát töltsön pluszban utazási idővel?

E kérdésből következik a további probléma felvetés, mégpedig az, hogyan lehet meghatározni a napi munkaidő kezdő és befejező időpontját? Ahogy azt korábban már több alkalommal is említettük, a hivatásos vadász munkáját általános teljes napi munkaidőben köteles végezni, amely nem lehet kevesebb, mint napi nyolc óra. Az Mt. 46. § (1) bekezdés e) pontjában található rendelkezés alapján a munkáltató köteles tájékoztatni a munkavállalót a beosztás szerinti napi munkaidő lehetséges kezdő és befejező időpontjáról, amely kötelezettség betartása álláspontunk szerint a hivatásos vadász esetében igencsak nehézséget okozhat. Mint az mindenki számára ismeretes, a természet működését nem lehet a napi munkaidő keretei közé szorítani, tehát a hivatásos vadász esetében teljes mértékben életszerű az, hogy a napi munkaidő előre meghatározott kezdő időpontját megelőzően vagy befejező időpontján túl szükséges a hivatásos vadásznak munkát végeznie. Ahogy az is lehetséges, hogy a hivatásos vadász heti pihenőnapján vagy heti pihenőideje alatt szükséges ellátnia feladatait, amennyiben az nem tűr halasztást.

Itt meg is érkeztünk a következő kérdéskörhöz, ami a rendkívüli munkaidővel kapcsolatos. Az Mt. 107. §-a értelmében a munkaidő-beosztástól eltérő munkaidő rendkívüli munkaidőnek minősül. Ennek értelmében, ha a napi kezdő és befejező időn túl, vagy a heti pihenőnapján, vagy heti pihenő idejében szükséges munkát végeznie a hivatásos vadásznak, az

rendkívüli munkaidőnek számít, amely után a hivatásos vadász számára megfelelő bérpótlék jár [Mt. 139. § (1)].

Az Mt. 134. § (1) bekezdése alapján a munkáltató kötelezettsége nyilvántartani a rendes és rendkívüli munkaidő, a szabadság, a készenlét tartamát, amely alapján megállapítható teljesített rendes és rendkívüli munkaidő. E nyilvántartás képezi alapját a rendkívüli munkaidő elszámolásának, azonban felmerül a kérdés, hogy a hivatásos vadász esetében mégis hogyan lehetséges a nyilvántartás? 2020. október 31-ig a hivatásos vadász a Vtv. Vhr. 36. § (1) bekezdése alapján köteles volt szolgálati naplót vezetni, amelybe fel kellett jegyezni a szolgálati idő kezdetét és végét, valamint a vadászattal és a vadgazdálkodással kapcsolatos eseményeket. Az egyes vadgazdálkodással összefüggő miniszteri rendeletek módosításáról szóló 52/2020. (X.27.) AM rendelet azonban a Vtv. Vhr. szolgálati naplóra vonatkozó rendelkezéseit 2020. november 01. napjától hatályon kívül helyezte, így a hivatásos vadásznak már nem áll fenn a szolgálati napló vezetésével kapcsolatos kötelezettsége. Sajnálatos módon a jogszabályváltozás megnehezítheti a hivatásos vadász munkaidejének és rendkívüli munkaidejének megfelelő nyilvántartását, így kétséges, hogyan kerülhet vajon elszámolásra és kifizetésre a hivatásos vadász számára a rendkívüli munkaidőre járó bérpótlék.

Figyelemmel arra, hogy a hivatásos vadász tevékenységét munkaviszonyban látja el, amelyre az Mt. rendelkezéseit szükséges alkalmazni, a hivatásos vadászt is megilleti az Mt. 115. § (1) bekezdése alapján az éves fizetett szabadság. Amennyiben a vadászterület méretéből adódóan a vadászatra jogosult csak egy hivatásos vadászt foglalkoztat, akkor felmerül az a kérdés, hogyan lehetséges a hivatásos vadászt helyettesíteni a szabadsága alatt?

A hivatásos vadász munkaviszonyával kapcsolatos kérdésekkel foglalkozott a Pécsi Ítéltábla Mf.30011/2023/5. számú ítéletében. Az eset alapjául szolgáló tényállás szerint az alperesi vadásztársaság 2017. március 14-től 2020. november 16-ig hivatásos vadász munkakörben alkalmazta a felperest, azonban munkaviszonyát az alperesi vadásztársaság azonnali hatállyal megszüntette. A munkaviszony megszüntetését illetően nem volt vita a felek között, azonban a felperesi hivatásos vadász munkavállaló keresetet terjesztett elő az alperesi vadásztársaság ellen, amelyben költségtérítés és rendkívüli munkaidőben végzett munka ellenértékének, összesen 1.978.514 forintnak megfizetésére kérte kötelezni alperest. (Pécsi Ítéltábla Mf.30011/2023/5. számú ítélete)

Az elsőfokú bíróság által megállapított tényállás szerint a felperesi hivatásos vadász a munkáját rendszerint hétfőtől-péntekig hétköznapokon végezte, az elvégzendő munkát minden hét elején egy alkalommal a munkáltatói jogkor gyakorlója, azaz a vadásztársaság elnöke adta ki a felperes számára, valamint meghatározta a feladatok elvégzésének idejét, és a munkára jelentkezés időpontját. (Pécsi Ítéltábla Mf.30011/2023/5. számú ítélete)

A napi munkaidőt azonban az elnök nem határozta meg. A munkavégzéssel kapcsolatosan annyi elvárása volt az vadásztársaság elnökének, hogy a felperes "reggel kezdje meg a munkát, és végezze, amíg kell". A felperesnek a kijelölt feladatokat az időjárás, egyéb elfoglaltságai és a különböző hivatásos vadászati feladatok, valamint lőtéri munkavégzése figyelembevételével, önálló időbeosztásban kellett elvégeznie. Azt is megállapította a bíróság, hogy a felperesi hivatásos vadász külön jelenléti ívet nem vezetett, szolgálati napló szolgált a munkavégzés dokumentálására. A tényállás szerint szombat-vasárnap, illetve ünnepnapon társas vadászat miatt és vadkár megelőzés céljából őrzést látott el a felperesi hivatásos vadász, esetenként hétvégi napon kellett egy-egy elejtett vadat beszállítania, illetve a vadászszövetség területén hétvégén is épített vadászlest. (Pécsi Ítéltábla Mf.30011/2023/5. számú ítélete)

Az elsőfokú bíróság ítéletében 95.301,-Ft munkabérpótlék és 80.000,-Ft költségtérítés megfizetésére kötelezte az alperesi vadásztársaságot, a kereset ezt meghaladó részét elutasította.

Indokolásában az elsőfokú bíróság megállapította, hogy a felperes munkavégzése beosztásában bizonyos mértékig szabadságot élvezett, ugyanakkor az alperes által sem vitatottan a felperesnek esetenként hétvégén, vadász kísérés miatt az esti vagy hajnali órákban is munkát kellett végeznie, illetve a vetések őrzésének időszakában munkaszüneti napokon is dolgozott. Azt az állítását azonban, hogy ezeket a munkákat túlmunkában teljesítette, és a munkáltató ezeket a túlmunkákat szabadidővel nem kompenzálta, a bíróság alaptalannak találta bizonyítékok hiányában. Helytállóan találta ugyanakkor az elsőfokú bíróság a felperes arra való hivatkozását, hogy az éjszakai munkavégzés tekintetében a pótlék a munkaidő-beosztásától függően munkaköre jellegéből adódóan megilleti. A perben nem volt vitás, hogy a vadkár megelőzése érdekében végzett őrzést, illetve a tagok ez irányú tevékenységének a koordinálását a felperesnek az esti, éjszakai órákban kellett ellátnia, ami a feladat jellegéből adódott. (Pécsi Ítéltábla Mf.30011/2023/5. számú ítélete)

Az elsőfokú ítélet ellen a felperes terjesztett elő fellebbezést, azt azonban a Pécsi Ítéltábla alaptalannak találta, és az Mf.30011/2023/5. számú ítéletében az elsőfokú bíróság ítéletét helybenhagyta.

Sajnálatos módon kúriai precedensjellegű határozat nem áll rendelkezésünkre, azonban a jelen ítéletből is számos következtetés vonható le a hivatásos vadász munkaviszonyával kapcsolatosan. Megállapítható, hogy a hivatásos vadász munkakörébe tartozó konkrét feladatok meghatározását és azok elvégzésének idejét befolyásolhatja az időjárás, és a vadászati, valamint a vadgazdálkodási tevékenységgel kapcsolatos sajátosságok, így a napi munkaidő kijelölése valóban nehézségekbe ütközik. A jogeset rámutatott arra is, hogy a munkaidő-nyilvántartás rendkívüli fontossággal bír, hiszen az képezi alapját az egyes bérpótlékok elszámolásának. A hivatkozott esetben a szolgálati napló lett volna erre hivatott, ha azt megfelelően vezeti a felperesi hivatásos vadász, azonban a szolgálati napló vezetési kötelezettség 2020. november 01. napjától nem áll fenn. Az Mt. 134. § (1) bekezdése alapján a nyilvántartás vezetése a munkáltató kötelezettsége, azonban felmerül a kérdés, hogy a gyakorlatban a vadásztásaságok eleget eleget tesznek-e ezen kötelezettségnek. A bírósági ítéletből levonható továbbá az a következtetés is, hogy a hivatásos vadász számára ugyanúgy járnak az éjszakai, hétvégéi és rendkívüli munkaidőben végzett munka után az Mt.-ben található bérpótlékok.

A szabadsággal és a helyettesítéssel kapcsolatosan felvetett kérdésekkel kapcsolatban az ítélezési gyakorlatból választ nem kaptunk.

Összegzés

Összességében megállapítható, hogy a hivatásos vadász foglalkoztatásával kapcsolatban az Mt. szabályait is áttekintve igencsak komoly gyakorlati problémák merülnek fel, amely problémák a munkakör sajátosságaiból fakadnak.

Az időjárásnak és a természeti folyamatoknak való kitettség miatt valóban nehézségekbe ütközhet a napi munkaidő kezdetének és végének meghatározása, amely kihatással van a napi munkaidő tartamára is. Ebből fakadóan következik az, hogy számos esetben felmerülhet a rendkívüli munkaidőben történő munkavégzés esete, amelynek megfelelő dokumentálása a szolgálati napló vezetési kötelezettség eltörlésével ugyancsak nehézségekbe ütközhet. A megfelelő dokumentálás hiányában pedig lehetetlen a hivatásos vadásznak az Mt. alapján járó bérpótlékok elszámolása. Egyértelműen megállapítható az is, hogy az Mt. 46. § (1) bekezdésében található tájékoztatási kötelezettség munkáltató általi megfelelő betartása is kérdéseket vet fel.

Arra sem kaptunk megfelelő választ, hogy a hivatásos vadász szabadsága alatt megoldható-e a megfelelő helyettesítés.

Bár kúriai precedensjellegű határozat nem állt rendelkezésre, a jelenleg hatályos jogszabályok és a Pécsi Ítéltábla hivatkozott ítélete alapján az a következtetés vonható le, hogy a hivatásos vadász tevékenysége valóban egy nonstop szolgálatot jelent, és szükség lenne a hivatásos vadász alkalmazásának feltételeit részletesebben szabályozó jogszabályok megalkotására.

Irodalomjegyzék

SIPKA P. – ZACCARIA M. L. (2019): Kísérlet a magyar munkaviszony-fogalom újragondolására az NMSZ 198. számú ajánlásának fényében. Miskolci Jogi Szemle. 2019/1. 1/2. szám. 49-67.o.

PETROVICS Z. (SZERK) – KOZMA A. – LŐRINCZ GY. – PÁL L. (2025): A Munka Törvénykönyvének magyarázata. Orac Kiadó Kft. Budapest. 2025.

PÉCSI ÍTÉLTÁBLA MF.30011/2023/5. SZÁMÚ ÍTÉLETE

A VAD VÉDELMÉRŐL, A VADGAZDÁLKODÁSRÓL, VALAMINT A VADÁSZATRÓL SZÓLÓ 1996. ÉVI LV. TÖRVÉNY

A VAD VÉDELMÉRŐL, A VADGAZDÁLKODÁSRÓL, VALAMINT A VADÁSZATRÓL SZÓLÓ 1996. ÉVI LV. TÖRVÉNY VÉGREHAJTÁSÁNAK SZABÁLYAIRÓL SZÓLÓ 79/2004. (V.4.) FVM RENDELET

A MUNKA TÖRVÉNYKÖNYVRŐL SZÓLÓ 2012. ÉVI I. TÖRVÉNY

ERDŐFELÚJÍTÁSOK TÁRSADALMASÍTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A MADARAK ÉS FÁK NAPJA EMLÉKERDŐ PÉLDÁJÁN

Possibilities of Socialization of Reforestation on the Model of the
Memory Forest of Birds and Trees Day

HARTL ÉVA¹, PREISINGER MÁRK²

¹Soproni Egyetem, Benedek Elek Pedagógiai Kar, Neveléstudományi és Pszichológiai Intézet

² TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt.

hartl.eva@uni-sopron.hu

Kivonat

A Benedek Elek Pedagógiai Kar több mint 15 éve szoros kapcsolatot ápol a Tanulmányi Erdőgazdasággal a környezeti nevelés területén. Az erdő érték, a környezeti nevelés ideális színtere, ahol évről évre az erdész –pedagógus szakmai együttműködés jegyében kerülnek megszervezésre az óvodapedagógus hallgatók, a mesterszakos és az erőpedagógia irányú továbbképzésekben résztvevő hallgatók természetismereti, az erdő megismerésére irányuló, terepi, erdőpedagógiai programjai. A hallgatók a kihelyezett tanórákon, a terepgyakorlatokon az erdészek közreműködésével, a saját megtapasztalás és az élményalapú tanulás útján szereznek ismereteket az erdőről, a természeti környezetben érzékenyítődnek. A környezeti nevelésben kiemelt célcsoportjaink a gyermekek és a családok is, figyelmet fordítunk fiatalokra és idősekre egyaránt, annak érdekében, hogy az erdőgazdálkodó bevonásával az ismeretek átadása, bővítése mellett környezettudatosságra neveljünk, szemléletet formáljunk az erdőgazdálkodással kapcsolatos téves információkat korrigáljuk, a helyes társadalmi megítélést a programjainkon segítsük. A tervszerű, tudatos erdőgazdálkodást, az erdőkezelés szükségességét bemutassuk, megfelelően kommunikáljuk és elfogadtassuk a tevékenységüket a társadalom felé. Az erdőfelújítások társadalmassítási lehetőségének szép példája, a 2016-ban a Soproni Parkerdő területén a 91 A erdőrészletben a Tanulmányi Erdőgazdasággal közösen létrehozott Madarak és Fák Napja Emlékerdő. Az emlékerdő ötlete és az elmúlt tíz év eredményei igazolják, hogy a társadalom érzékenyíthető. A terület lassan betelt, számtalan hallgatói, óvodai gyermekcsoport, iskolák, családok, civil közösségek, egyesületek, magánszemélyek ültettek itt, és követik nyomon az erdészek által biztosított facsemetéjük, az erdő fejlődését.

Abstract

The Benedek Elek Faculty of Pedagogy has been maintaining a relationship for more than 15 years with the TAEG Zrt. on the field of environmental education. Forest is a value and the ideal platform of environmental education, where in the frame of professional cooperation of foresters and pedagogues, programs for prospective kindergarten teachers, MA students and students studying forest pedagogy in further education are encouraged to get to know the programs and field programs of forest pedagogy and environment. The students acquire knowledge on outdoor lessons and field practices with the help of foresters and gain knowledge on forest through experience. In environmental education particularly important target groups are children and families, young people as well as elderly in order to reach environmental awareness and fight for positive attitude against false information on forestry management. We are committed to support correct social perception on our programs, introduce the necessity of forest management and support its acceptance by the society. A nice example of social possibility of reforestation is The Birds and Trees Day Memory Forest established together with the TAEG Zrt. in 2016 in the 91A part of the Sopron Park Forest.

We introduce conscious forestry, point at the necessity of forest management and support its acceptance by the society. A nice example of social possibility of reforestation is The Birds and Trees Day Memory Forest established together with the TAEG Plc. in the 91 A part of the Sopron Park Forest in 2016. The idea of memory forest and the success of the past 10 years certify that the society can be sensitized. The area is nearly full, countless group of students and kindergarten groups, schools and civil societies, associations, private persons have planted a tree here and follow the growth of the tree and the forest.

Bevezetés

Az erdő bonyolult életközösség, az élővilág színtere, ahol a legnagyobb növényóriások a fák. Az erdő mindenki számára mást jelent. Megszépíti a környezetünket, megélhetést, munkát nyújt az emberek számára, de a kikapcsolódás, pihenés, és rekreáció helye is egyben. Az erdő az emberek jóllétét is szolgálja. Az erdő hármaskörű funkciója az ökológiai, ökonómiai és közjóléti funkció. Az erdőben az állami és magán erdőgazdálkodók tervszerű, tartamos erdőgazdálkodást folytatnak. A közjóléti funkciónak megfelelően kilátókat, erdei pihenőhelyeket, tanösvényeket építenek és tartanak fenn, erdészeti erdei iskolákat működtetnek. Az erdő értékeit használva biztosítják az ember számára elengedhetetlen és szükséges haszonvételeket. Az erdőgazdálkodási tevékenységet azonban a társadalom sok esetben tévesen, helytelenül ítéli meg. A médiában megjelenő, és egymásközt rosszul kommunikált hírek sokszor mutatják a megfelelő ismeretek hiányát, melyek általánosításokhoz, téves megítéléshez vezetnek a társadalom körében. Egy a 2010-es évek elején végzett, az erdészek és szakmájuk társadalmi megítélésére irányuló kutatás is rámutat arra, hogy az emberek a saját bevallásuk szerint sokan nem ismerik az erdőt és az erdész munkáját sem. Az eredmények alapján megerősítést nyert, hogy a megoldáshoz, a pozitív irányba forduláshoz megfelelő marketingstratégiára, a kommunikációra és oktatásra és nevelésre van szükség (FOLCZ, 2013). A megítélési problémákkal sajnos napjainkban is találkozhatunk, ezért az oktatás, a nevelés, a helyes megítélést segítő programok szervezése szükséges a tévképzetek feloldásához. A szakmai partnerek együttműködése, az erdészek és pedagógus közötti kommunikáció elengedhetetlen, a hatékony környezeti neveléshez.

A gyermekek nevelésében elsődleges szerepe van a családnak, majd az intézményes nevelési színtereknek, az óvodának, az iskolának, így a szülők mellett a pedagógusokra is feladatok hárulnak. Az erdő kapcsán a környezeti nevelésben a család és a pedagógusok mellett az erdőgazdálkodók is részt vállalnak, programokat kínálnak a gyerekeknek, családoknak, az erdő iránt érdeklődőknek, ismeretek közvetítenek, a helyes kommunikációt segítik.

Sopronban a Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt., Muck Endre Erdészeti Erdei Iskola évek óta kínál érdekes, erdőpedagógiai és családi programokat a Károly-magaslaton Köhalmy Vadászati Múzeumban, az Erdő Háza Ökoturisztikai Látogatóközpont és Vadasparkban. A tanösvényei az erdőlátogatók erdővel, erdőgazdálkodással, vadgazdálkodással kapcsolatos ismereteit bővítik, segítik a helyes kommunikációt a társadalom felé. A tanösvények mellett létrehozta a lakosság, az idelátogatók körében is nagyon népszerű Boszorkány meseösvényt is, a kicsik és nagyok örömeire.

A Benedek Elek Pedagógiai Kar több mint 15 éve ápol kiváló szakmai kapcsolatot a TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt.-vel. Az együttműködés jegyében hallgatói terepgyakorlatokat, és közös programokat tervez és lebonyolít le. A hallgatóknak, a gyerekeknek és a családoknak, az időseknek és fiataloknak szervezett közös programokon, az élményalapú tanulás, a saját megtapasztalás, az erdőpedagógiai módszerek segítségével erdőismeretre, erdőtudatosságra nevel, attitűdöt formál.

A Madarak és Fák Napja és az iskola - szakmai együttműködéssel a XX. század első felében

Az erdőfelújítás társadalmasításának lehetőségeként a Madarak és Fák Napja Emlékerdő ötlete a Madarak és Fák Napja iskolai történetére vonatkozó, a természetszeretetre nevelés és szakmai együttműködés keresésére fókuszáló neveléstörténeti kutatások és eredményei alapozták meg.

A XIX. század végén a XX. század elején a természetszeretetre nevelés ügye, a fák és madarak védelmével kapcsolatos törekvések felerősödnek, a nevelésbe vetett hit, az iskola szerepe felértékelődik. Az amerikai iskolákban 1894-től bevezetik a Madarak (Birds day) és a Fák (Arbor day) Napjának ünneplését. Hazánkban 1896-ban vallás-, és közoktatási miniszter a 704. elnöki számú,- a népiskolai helyhatóságok fele intézett- rendeletében utasítja az iskolákat emlékfák, facsoportok ültetésére a Millenium emlékére. Olaszországban 1899 őszén az olasz királyné a római Via Latinán a „Festa degli alberi”-n a fák ünnepén facsemetét ültet. Az eseményen a római iskolák 7000 tanulója is részt vesz a facsemeték megbecsülésének nevelői célzatával. Hazánkban működik az Erzsébetfa-ültető bizottság. A fát értékes és fontos alapanyagának tartják hazánkban, mely ápolást, tervszerű kitermelést és telepítést igényel.

Hermann Ottó az Országos Állatvédő Egyesület közgyűlésén 1900. február 25-én felolvassa a madárvédelemmel kapcsolatos gondolatait, és a Madarak és Fák Napja ünneplésére vonatkozó amerikai mintát követő javaslatát. A fontos mondanivalóra való tekintettel az Erdészeti Lapok 1900. májusi száma a gondolatokat teljes terjedelmében közli, melyben Herman Ottó kiemeli a gyermekek által ültetett csemete jelentőségét is, mely a gyermekkel együtt növekedve a „gyermek lényéhez fűződik” majd. 1902 tavaszán Chernel István, Herman Ottó barátja elsőként rendez Kőszegen a Madarak és Fák Napját a gimnazista diákokkal. 1903 tavaszán már Sopronban a helyi Állatvédő Egyesület kezdeményezésére ünnepeleik a Madarak és Fák Napját.

Majd Herman Ottó és az Országos Állatvédő Egyesület megkeresésére Gróf Apponyi Albert, vallás- és közoktatásügyi miniszter 1906. április 27-én, a 26.120 számú körrendeletével meghonosítja a Madarak és Fák Napját a népiskolákban, hazánkban. Elrendeli, hogy az iskolák évente májusban, vagy júniusban egy nap keretében ünnepeljenek és a napot faültetéssel tegyék emlékezetessé. (MADÁRNÉ GYURJÁN 2001, HARTL 2009.)

A rendelet megjelenését örömmel üdvözli az Erdészeti Lapok 1906-os májusi száma is, de megjegyzi, hogy e nap a rendeletben foglaltakon túl, az erdőgazdaság iránti hiányos érzék felkeltésére is alkalmas lenne az iskolában.

A rendelet hatására a népiskolai ünneplés, és faültetések országszerte megkezdődnek. A megemlékezés lehetőség szerint mindig kirándulással egybekötött, ahol lehet, erdőben zajlik. Úgy gondolják, hogy a természeti környezet, a személyes megtapasztalás, részvétel és élmények, a faültetés is hatékonyan segítik természetszeretet és védelme erősödését.

Sopronban az erdő közelségéből adódóan a tanítók hamar felismerik az erdészekben a lehetőséget, a hiteles partnert a rendezvényekhez. A folyamatot segítik vallás- és közoktatási miniszterek és a földművelési miniszterek egymást megerősítő, támogató rendeletei melyek a Madarak és Fák Napja kiteljesedését, a faültetésekhez szükséges feltételek erdészeti oldalról történő biztosítását garantálják. Az iskolák a segítségét igénybe veszik, a faültetéshez csemetéket kapnak, esetenként előadások megtartására kérik meg a helyi erdészt. Ezesetben tanulók a leghitelesebb személytől kapják az ismereteket az erdőről, a fákról, az erdőgazdálkodásról. A tanítók és erdészek közötti kommunikáció és együttműködés a XX. század első felében a Madarak és Fák Napja iskolai ünneplése során helyenként tetten érhető, Sopronban is esetenként igazolható. A korabeli, helyi iskolák iskolai értesítőiből megtudhatjuk, hogy ahol erre a tanító hangsúlyt fektet, erdész bevonásával zajlik a megemlékezés, erdei

környezetben. A Soproni Katolikus Belvárosi Fiúiskola 1911-12-es tanév május 31-én délután például a harkai fennsíkra kirándult az itatóhoz, ahol megnézték a IV.-VI. osztály, a Városi Erdészeti Hivatal támogatásával áprilisban ültetett fáit. Ebben az időszakban, Sopronban a Madarak és Fák Napja alkalmából rendezett iskolai fásítások, intézkedések és ezek bonyolításában nagy szerepe volt Muck Endre erdőmérnök úrnak, akinek lelkes munkáját a helyi állatvédő egyesület írásban, levélben is megköszöni, és egyben kéri a további támogatását is. Az erdőgondnok úr érdemeit köszönő levelében Gróf Apponyi Albert vallás- és közoktatási miniszter is méltatja.

A szakmai együttműködés szép példáját olvashatjuk az 1932-1933. tanév Soproni Polgári Leányiskola iskolai értesítőjében is. Ebben az évben a fásítás megkedveltetéséhez Zügn Nándor, Sopron szabad királyi város erdőmestere biztosított fenyőmagvakat a polgári iskola leányainak. A magvakat Karner Ödön városi erdőmérnök úr segítségével ültették el a tanulók. Közben beszéltek az erdők keletkezéséről, arról, hogy hogyan gondozták régen és mi a teendő ma. Kiemelték az erdő nemzetgazdasági hasznát, rávilágítottak arra, hogy milyen kincs a nemzetnek a fa és az erdőgazdaság és hasznos tanácsokat is adtak az elültetett magvak szakszerű gondozásához is. (HARTL 2009)

A Madarak és Fák Napja ünneplése és a faültetések a további körrendeletek hatására a XX. század első felében a középfokú iskolákban is helyet találnak maguknak. Később az 1950-es évektől a Madarak és Fák Napja iskolai ünneplése mintha elfeledni látszana. Majd az 1980-as évek elején éled újra és a Természet védelméről szóló 1996. évi LIII. törvény 64.§ 3. bekezdés alapján egy konkrét naphoz kötötte, azóta minden év május 10.-én, zöld jeles napként ünnepeljük.

Madarak és Fák Napja Emlékerdő

A Madarak és Fák Napja Emlékerdő gondolata, e nap iskolai meghonosodásának a 110. évfordulója alkalmából, a kutatások eredményeire támaszkodva született meg. A cél a környezettudatosság, a természetszeretetre és védelmére nevelés és felelősségvállalás erősítése a pedagógus-erdész szakmai együttműködés, az erdőgazdálkodásnak, az erdészek munkájának, a helyes társadalmi megítélésének segítése volt.

Anyag és módszer

Az emlékerdő ötletét 2016 január elején tártuk a TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. elé. Az erdőgazdaság nyitott volt a megkeresésre, az ötletet felkarolta és a Soproni hegység keleti oldalán a TV-torony és a Boszorkány meseösvény szomszédságában, a Pedagógus forrás melletti hegyoldalban, a parkerdei környezetben található 91 A erdőrészletet javasolta erre a célra. A terület minden szempontból, a megközelíthetőség és a várostól való távolság tekintetében egyaránt megfelelőnek bizonyult. A keleti fekvésű oldalon egy keménylomb elegyes vörösfenyves állomány volt, amíg a légköri aszálynak és másodlagos szűkárósnak köszönhetően az állomány egészségi állapota 2015-ben leromlott. Ezért a Soproni Erdészet, mint erdőgazdálkodó a két részterületen összesen 1,99 ha-on a véghasználatot (TRV) végzett el. Az erdészeti hatóság a rehabilitált területen tölgyes (T) célállományt határozott meg, aminek a mesterséges erdősítés elvégzésekor a gazdálkodó megfelelő elegyfajok ültetésével együtt eleget is tett. Az első kivétel kézi ékásos ültetéssel 1,5 m sortávval és 70 cm tőtávval valósult meg. Az erdősítés vázát 16000 db kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*); 2000 db kocsányos tölgy (*Quercus robur*) adta, 1000-1000 db erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) és feketefenyő (*Pinus nigra*) a sorjelző szerepet töltötte be. Az erdőrészlet északi részén 0,3 hektáros terület külön felhagyásra került, amelyben az ötletnek megfelelően a „Madarak és Fák Napja Emlékerdő” került kialakításra.

Az emlékerdő létrehozása egy rendezvénysorozat keretében valósult meg. A területtel kapcsolatos egyeztetések után a következő lépésben 2016 január végén a Pedagógiai Kar, a Tanulmányi Erdőgazdaság és az OEE Helyi Csoportja közösen rajzpályázatot hirdetett a soproni és Sopron környéki óvodásoknak, vers és meseíró pályázatot az iskolásoknak madarak, fák, erdő témakörben. A felhívásra 247 óvoda rajz és 39 mese és vers érkezett. Az óvodások munkáiból, a kollégák és az óvodapedagógus hallgatók segítségével május elején, a Soproni Egyetem Botanikus kertjében található Ligneumban kiállítást rendeztünk. A kiállítás megnyitóján a rajzos pályaművekért a gyermekek óvodai csoportjai egy-egy madárodút kaptak ajándékba, melyet TAEG és az Országos Erdészeti Egyesület Helyi Csoportja és a Hallgatói Csoport támogatott. Az oduk kihelyezése az óvodákban az Erdészeti Egyesület Hallgatói Csoport tagjainak segítségével történt. Az iskolások pályamunkáit CD-re gyűjtöttük össze, melyekből minden iskola pályázó az emlékerdőavató-ünnepségen kapott egy példányt.

Az erdősítési munka a Madarak és Fák Napja Emlékerdőben 2016 május 10-én az avatással és a 89 darab kocsányos tölgycsemete elültetésével megkezdődött. A rendezvényen több mint 300 résztvevő volt jelen. Az óvodások az óvodai csoportjuk és az óvodájuk szerint egy-egy, az iskolás gyermekek személyenként és az iskolájuk szerint egy-egy tölgycsemetét kaptak a Tanulmányi Erdőgazdaságtól és ültettek el ezen a napon az erdészek segítségével. A terület előkészítésében a TAEG mellett a Roth Gyula Erdészeti, Faipari Szakközépiskola és Kollégium tanulói is segítettek (1. ábra).



1. ábra: A véghasználat után előkészített terület

Az ültetés, a csemetek helyének GPS koordinátás helymeghatározásával, helykijelöléssel történt. Az ültetők a koordináták feltüntetésével ellátott emléklapot kaptak, mely segítségével a csemete beazonosítása a későbbiekben is elérhetővé vált, és ezzel az egyéni felelősségvállalás is megkezdődött.

Az ünnepi műsort - a régi iskolai ünneplésről szóló minták alapján- a madarakról, fákról, erdőről szóló énekeket, verseket a Pedagógiai Kar óvodapedagógus hallgatói szolgáltatták. Az ültetés után, a program végén felhívtuk a gyerekeket, a résztvevők figyelmét arra, hogy a „saját” facsemetéket ápolják, a fejlődését, növekedését kövessék nyomon. A jelenlévők erre ígéretet tettek.

Az avatást követően, a híradások és a személyes élményeken alapuló elbeszélések hatására már az adott évben megélnék a lakosság, a családok, baráti társaságok emlékerdő iránti

érdeklődése, faültetési kedve Sopronban. Az óvodások, iskolások által ültetett csemetéket számos további ültetése követte. Rendszeressé váltak az erre irányuló megkeresések az OEE Soproni Helyi Csoportnál és a TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt.-nél. A lakosság faültetési szándékát, a gyakorlati megvalósulást segítette, és segíti ma is a helyszínen található erdei tájékoztató és ismeretterjesztő tábla, ahol a bejelentkezéshez és egyeztetéshez szükséges információk, és a telefonszám is elérhető (2. ábra).



2. ábra: Tájékoztató és ismeretterjesztő tábla

A telefonos időpont-egyeztetés után az erdészek kijelölik a területen a csemete helyét. Az erdőgazdaság ingyen biztosítja a csemetét. Az ültetők a csemete későbbi azonosításához az ültetési hely GPS koordinátaival ellátott emléklapot kapnak.

Az emlékerdő 2021-ben ünnepelte az 5. évfordulóját. A Covid időszakban azonban sajnos nagyobb rendezvény szervezésére, közös ünneplésre szabadtéren sem volt lehetőség, ezért kis létszám jelenlétében ugyan, de a Benedek Elek Pedagógiai Kar, a Tanulmányi Erdőgazdaság és az OEE Helyi Csoport néhány képviselővel a faültetés ezalkalommal sem maradt el. Ekkor került elhelyezésre itt egy pad is, mely az emlékerdőt felkereső ültetők és a túrázók számára ad azóta is megpihenési lehetőséget. Az ismeretbővítés szándékával ekkor kerültek fel a tájékoztató tábla üres hátoldalára a területre jellemző állományalkotó fajok és madárfajok képei és a megnevezések is.

Eredmények

A Madarak és Fák Napja Emlékerdő az idei évben ünnepli 10. évfordulóját. Az alapítástól kezdve a Soproni Egyetem Benedek Elek Pedagógiai Kar szervezésében évről évre a

környezeti nevelés, a szakmai kommunikáció és együttműködés jegyében hallgatói csoportok, évfolyamok, óvodák végeztek itt erdősítési munkát. De ültetett az emlékerdőben a Soproni és Kapuvári Nyugdíjas Egyetem szépkorú hallgatósága, iskolák, családok civil egyesületek, baráti társaságok, magánszemélyek is. A TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt.-nél történt bejelentés és egyeztetés után az erdőgazdaság által biztosított csemetékkel, vagy olott gyümölcsfajokkal zajlott az erdősítés pótlása és elegyítése a közel 10 éves időszakban az ültetők által. Ezeket az egyedeket, egyedi szalagozással is jelölték.

A TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság a közel 10 éves periódusban az 1. kivitelt és a pótlásokat is magában foglalva 34 000 db csemetét ültetett el a területen. A Madarak és Fák Napja Emlékerdőben a gyerekek, pedagógusok által, a civil kezdeményezésből elültetett csemeteszám 1600 darabra tehető. Az erdősítés klímaváltozáshoz és a biológiai sokféleséghez való hozzájárulásaként a területre bekerülő elegyfajok a madárberkenye (*Sorbus aucuparia*), a szelídgesztenye (*Castanea sativa*), az alma (*Malus sylvestris*) és a madárcezesznye (*Padus avium*) voltak.

Következtetések

A Madarak és Fák Napja Emlékerdő területe lassan megtelt. Az ültetett csemeték növekedése jól mutatja az idő múlását. Az erdő lassan záródik és az erdővé nyilvánítás, átvétel is ezévből esedékes. Az emlékerdő a környezettudatosságot, a természetszeretetre és védelmére nevelést erősíti. Beépült a Benedek Elek Pedagógiai Kar hallgatóinak a terepgyakorlataiba. A rendszeres programok, az ültetési lehetőség és kedv miatt ismertté, kedvelt kiránduló célponttá vált. Az elültetett emlékfácskák, az ültetésük története egyedi, néhány mellett táblák jelzik az ültetőket. Egyes faegyedei rendszeresen látogatottak, megápoltak, vadhálóval körülkerítettek. A felelősségvállalás intenzitása azonban nem egyforma. Az eredmény ennek ellenére előremutató, hiszen a gyerekek, a hallgatók, a pedagógusok, a civilek, a lakosság segítségével, az erdészekkel együttműködve, és az erdészek munkájába is belelátva a terület erdőfelújítása közös erővel megtörtént. A Madarak és Fák Napja Emlékerdő, mint a szakmai összefogáson alapuló helyi kezdeményezés, az erdőfelújítás társadalmiasításának szép példája. Az emlékerdő, mint lehetőség az idestova eltelt közel 10 év alatt újabb, további kezdeményezéseket is eredményezett. Egy soproni középiskola és egy multinacionális cég dolgozói is vállalkoztak arra, hogy az erdészekkel közösen, egy adott területen az erdőfelújításokban aktívan és lelkesen részt vegyenek.

Irodalomjegyzék

- FOLCZ Á. (2013): Az erdészek és szakmájuk társadalmi megítélése Erdészeti Lapok. XLV. évf. (V.), Országos Erdészeti Egyesület, Budapest, CXLVIII. évf. 11. szám pp. 364.
- HARTL É. (2009): Madarak és Fák Napja története és gyakorlata a soproni iskolákban a XX. század első felében (1906-1944). In: TENGERDI A. – VARGA L. (szerk.) A gyermeklét narratívái: "Örökkék ég a felhők mögött" Sopron, Magyarország: Edutech Kiadó, pp. 141-154, 14 p.
- MADARAK ÉS FÁK NAPJA (1906): Erdészeti Lapok. XLV. évf. (V.), Országos Erdészeti Egyesület, Budapest, pp. 438.
- MADÁRNÉ GYURJÁN I. (szerk.) (2001): Madarak és fák napja Környezetvédelem a századfordulón. Készült az OPKM nyomdájában Munkaszám 49-2001.

ERDEI VÍZPÓTLÁS MAGYARORSZÁGON, MINTAPÉLDÁKON KERESZTÜL

Forest water supplementation examples in Hungary

HERCEG ANDRÁS¹, ZAGYVAINÉ KISS KATALIN ANITA¹, KALICZ PÉTER¹,
GRIBOVSKI ZOLTÁN¹

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet
herceg.andras@uni-sopron.hu

Kivonat

Magyarországon a lehulló csapadék 90%-a elpárolog, és ez a legnagyobb tag a vízmérleg kiadási oldalán. Melegben nem a víztakarékoskodás, hanem a bőséges vízmennyiség rendelkezésre állása és annak párolgással történő hűtő hatása jelentheti a táji vízpótlás alapját. A problémát fokozza, hogy Európa és így hazánk is gyorsabban melegszik a globális átlagnál. Az időjárási viszonyok jelentős megváltozása és ebből kifolyólag az erdei talajok vízgazdálkodásának negatív irányú változása révén az erdők állapotának általános romlása is európai szintű jelenség. A fentebb leírtakból következik, hogy aktív beavatkozás szükséges tehát vízvisszatartás/vízpótlás formájában. Jelen cikk a magyarországi erdők vízpótlásával kapcsolatban igyekszik bemutatni esettanulmányokat a teljesség igénye nélkül.

Abstract

In Hungary, 90% of precipitation evaporates, which is the largest component on the outflow side of the water balance. In hot weather, it is not water conservation but the availability of abundant water and its cooling effect through evaporation that can form the basis of landscape water supplementation. The problem is exacerbated by the fact that Europe, and thus Hungary, is warming faster than the global average. Significant changes in weather conditions and the resulting negative changes in forest soil water management have led to a general deterioration in the condition of forests across Europe. It follows from the above that active intervention in the form of water retention/replenishment is necessary. This article attempts to present case studies related to water supplementation in Hungarian forests, without claiming to be exhaustive.

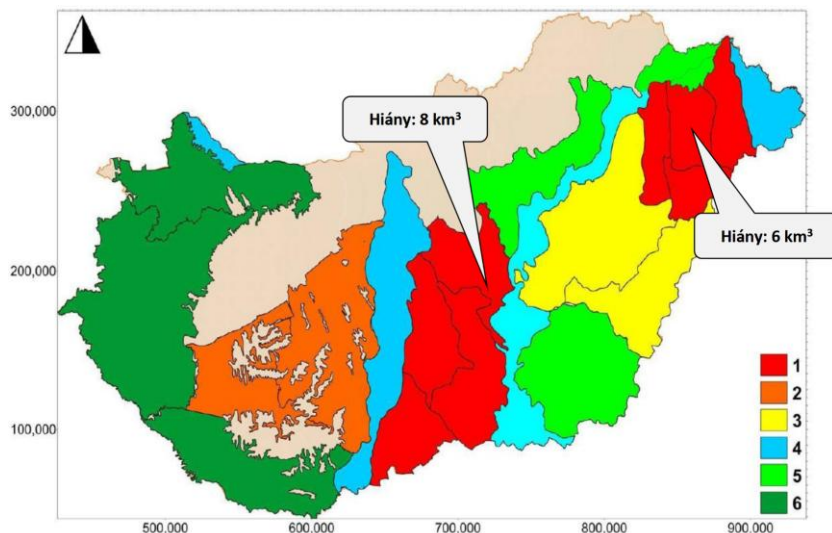
Bevezetés

Európában a hőmérséklet emelkedése a globális átlagot meghaladja, de regionális és szezonális mintázatok is mutatkoznak kontinens szerte (IPCC, 2022). Magyarország átlaghőmérséklete 1901 és 2020 között 1,2 °C-kal emelkedett, ami elsősorban a 80-as évek vége óta jelentkezik erőteljesebben. A legjelentősebb felmelegedés a nyarakat érintette, 1,3 °C-kal. A csapadékváltozások kevésbé egyértelműek, mert bár az éves mennyiség ugyanebben a vizsgálati időszakban 4%-kal csökkent, de a szezonális összeg télen és nyáron nőtt, viszont tavasszal jelentős csökkenés volt megfigyelhető (LAKATOS et al. 2021a). A csapadék eloszlásának változásai pedig a felszín alatti vízkészletek utánpótlódására vannak hatással (KESZELOVÁ et al. 2022). A jövőben várhatóan szélsőségesebb csapadékok és nagyobb ingadozások jelentkeznek egy éven belül, például az egyszeri csapadékesemények alatt lehulló jelentősebb mennyiség, amely fokozza a felszíni lefolyást (BARTHOLY - PONGRÁCZ 2017).

Az országba beérkező víz mennyisége 98 km³/év, míg a távozóé 105 km³/év. Vízmérlegünk pedig az elmúlt években negatív irányba mozdult (LÁNG 2025).

Magyarországon az 1980-as évektől a vegetációs időszakokban egyre gyakoribbak az aszályos időszakok (LAKATOS et al. 2021a, TRAN et al. 2022). A talajvízszint csökkenése 2003-2020 között átlagosan körülbelül -5,7 mm/év hazánkban (XANKE – LIESCH, 2022). A talajvíz

deficit értéke (bevezetésekkel és vízhasználatokkal együtt) $0,6 \text{ km}^3/\text{év}$, ami $3\text{-}5 \text{ cm}/\text{év}$ süllyedésnek feleltethető meg. Talajvízkészlet-hiány tekintetében a legérzékenyebb területünk a Homokhátság, 8 km^3 , valamint a Nyírség és a Hajdúhát területek 6 km^3 hiánnyal (LÁNG, 2025). Másrészt a Penman–Monteith referencia evapotranszpiráció Magyarországon átlagosan $42,5 \text{ mm}$ -t emelkedett 1961 és 2010 között ($0,868 \text{ mm}/\text{év}$). Az emelkedés nem egyenletes, hiszen a legjelentősebb változást a sík területek észak-nyugati része mutatta, mintegy 125 mm -vel (LAKATOS et al. 2021b).



1. ábra: Talajvízkészlethiány Magyarországon (Láng, 2025).

A Magyarországon keletkező vízkészletnek, az országban lehulló csapadéknak, amely évente 59 km^3 vízmennyiséget jelent, csaknem a 90% -a párolog el, és vízmérlegünkben ez a legnagyobb tag a kiadási oldalon (LÁNG 2025). A párolgás hűtőhatása miatt (a víz halmazállapot-változása során látens hőt von el a környezettől), ennek a légkörbe (mint legjelentősebb vízigénylő és felhasználó) került víztömegnek a környezet hőstabilitásának megőrzésében van kulcsszerepe (ELLISON et al. 2024).

A párolgás fokozódásán keresztül a felszíni vizek utánpótlása is csökken. A talajvízszintek süllyedésével pedig még több csapadék kerül a talajba, ami még kisebb lefolyást eredményez, végül a kisebb vízfolyások felszín alatti vízutánpótlása is csökken. (LENDÉR, 2016).

A folyamatos és összefüggő növényborításnak kiemelt szerepe van a felszíni hőmérséklet mérséklésében és egyúttal a víztartékok szabályozásában, vagyis a párolgással azok kellő időben történő mozgósításában (BÁDER 2025).

Klímavédelmi szempontból kiemelendő az erdők szerepe ($2,3$ millió hektár), amely a nemzeti zöldvagyonunk alapja. A szénmegkötés, a párologtatás, az árnyékolás mellett a hidrológiai ciklust is jelentősen befolyásolják (CREED et al. 2019, NAGY (szerk.) (2025a)). Enyhítik például az árvizek negatív hatásait a víz beszivárogtatásának elősegítésével (BAIRD – WILBY 1999). Az erdők avartakarója továbbá nagyban befolyásolja a gyökérszóna vízháztartását, mivel a csapadékot visszatartja és lassítja a talajfelszínre jutó vírzecskék mozgását (GRIBOVSKI et al. 2019). Az avar által felfogott víz el nem párologott része tehát fokozatosan szivárog be az erdei talajba, és tölti fel a felszín alatti víztározókat. A talajba nem beszivárgó csapadék maradék része felszíni lefolyást generál. Összeségében az erdők tehát a fenntartható vízgazdálkodásban töltenek be kulcsszerepet (NAGY (szerk.) (2025a)).

Az erdők klímaváltozás mérséklő hatásán túl elszenvetői is annak. Az utóbbi évtizedekben 2001-ben volt először olyan szárazság, amikor a csapadék az erdők vízigényét nem tudta kielégíteni. 2022 óta azonban egymást követően telt el négy vízhiányos év, ami olyan

erdőpusztulásokkal járt, amik már nem kezelhetők a konvencionális eszközökkel (SOMOGYI et al. 2025). Az elhúzódó aszályok mellett az erdőket a hirtelen nagy csapadékok, a talajvízszint-csökkenés a megjelenő új kártevők és a betegségek is veszélyeztetik (NAGY (szerk.) (2025a). A csapadék mennyiségének és eloszlásának változásai, az egyre emelkedő hőmérséklettel a növények nagyobb vízfelhasználásához vezethetnek, hiszen hosszabb vegetációs időszakokkal és nagyobb levélfelületet kell számolni. A talajvízfüggő erdőtársulások esetén, az alacsonyabb talajvízszint miatt a fiatal fák gyökérzete nem fog tudni hozzáférni a vízforráshoz, ami az állományok regenerálódását veszélyezteti (GRIBOVSKI et al. 2017). Így bizonyos nagy vízigényű és produktív erdei ökoszisztémák fennmaradása válhat kérdésessé a Kárpát-medence sík területein (STOJANOVIC et al. 2015). A síkvidéki erdei ökoszisztémák esetén a talajvízkészlet a vegetációs periódus nyári időszakának elsődleges vízforrása.

Az erdők klímastresszre adott válaszait azonban a nagyfokú bizonytalanság jellemzi, ezért a regionális és helyi ökológiai körülményeket mindenképpen figyelembe kell venni (MÁTYÁS et al. 2018).

A természetes szabályozás, mint passzív szemléletű erdőgazdálkodás ma már önmagában kevés, az éghajlat (termőhely) jelenlegi változása gyanánt az erdők vízháztartásának megőrzése, javítása tudatos emberi beavatkozást igényel. Az aktív (klímabarát) erdőgazdálkodás ellenben az erdők összetételének és szerkezetének megváltoztatásához erdőgazdálkodási beavatkozásokat eszközöl, vagyis az erdő egész életciklusa során jobban képes alkalmazkodni a változó éghajlati viszonyokhoz is (NAGY (szerk.) 2025a).

A jogszabályi környezet megváltoztatása is kulcsfontosságú az éghajlatváltozáshoz való, lehetőség szerinti adaptálódáshoz. Egy rugalmas erdőtörvény a cél, mert őshonos fafajok bizonyos területeken már nem lesznek képesek a klímaadaptációra. Megfontolandó a délebbi területek származásainak a használatára, így akár 50 évet is nyerhetünk, elősegíthetjük az elegyesedést a jövőbeni őshonos fajokkal, vagy, ahol muszáj az alternatív új fajok alkalmazását (SOMOGYI et al. 2025).

Az Erdészeti Klímaadaptációs Fórum 2025-ben alakult meg, amely fő céljaként az Erdészeti Klímaadaptációs Stratégia és az alföldi térségekhez kapcsolódó Cselekvési Terv kidolgozását tűzte ki. Munkacsoportjai közül az *Erdészeti vízgazdálkodás, vízpótlás* munkacsoport a magyar erdők vízellátottságát hivatott javítani, elsősorban a legsérülékenyebb, alföldi termőhelyeken (NAGY et al. (szerk.) (2025b)).

Kiemelendő az is, hogy a vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvényt módosító, 2025. évi XXXVI. törvény 3. § szerint a Vízügynek a 2025. július 1-jei hatályba lépésétől már deklarált és prioritizált feladata a vízvisszatartás és a vízhiány elleni védekezés, ezzel a fenntartható vízgazdálkodás részeként, a gyakorlati megvalósítás érdekében döntő és meghatározó szerepet vállalva (NAGY (szerk.) 2025a).

Legérzékenyebb területeink egyike az önálló beszivárgási egységet képző Homokhátság, amely a Duna és Tisza folyók szintjénél 50–70 m-rel magasabban helyezkedik el. A területen eredetileg sekély tavak, láprétek és szikesek voltak, de ezek nagy része eltűnt a lecsapolások miatt (KONFÁR, 2025). Mai vízrendszerét alapvetően mesterséges csatornák alkotják. A természetes talajvízkészlete csak a csapadékból származik. (MAGYAR, 2015). Az évi csapadékösszeg és az évi potenciális evapotranszpiráció különbsége negatív, vagyis a vízmérlege negatív. A helyzetet súlyosbítja, hogy 1970-2005 között a téli félévi csapadékösszegek 17%-kal csökkentek. A folyamatot a klímaváltozás valószínűsíthetően tovább fogja rontani. Meg kell említeni a legjelentősebb tényező, a csapadékhiány mellett, az antropogén okokat is, így a réteg-, talajvíz-kitermelést, a földhasználat változásokat, vízrendezést és a szénhidrogén-termelést (KAJNER, 2022).

Az Országos Vízügyi Főigazgatóság koordinálásával indult el a *Vizet a tájba!* program, amely keretében meder- és partrendezések elvégzésére is van lehetőség. A program céljai a vízvisszatartás (sekély árasztások), a fenntartható vízgazdálkodás elősegítése, a talajvízszint süllyedésének megállítása, a termőföldek vízellátottságának javítása és az aszálykárok mérséklése, vízhiányos időszakok kezelése. Az intézkedéssel az erdőterületeken is lehetőség lesz aktív vízbázisok létrehozása (NEFAG Zrt. 2025, BÉKÉSI et al. 2025).

Ha a víz takarékoság miatt vagy egyéb okból csökken a rendelkezésre álló vízmennyiség, akkor kevesebb látens hő tud távozni, a párolgás és ezért a hőelvonás is csökken. Következésképpen kevesebb látens hő „távozik” a tájról, több érezhető hő marad a felszínen, ez pedig a felmelegedést növeli, például táji hőszigetek alakulnak ki. Ebből kifolyólag táji szinten takarékoskodni a vízzel a párolgás csökkentését is jelenti, ami lokális felmelegedést okozhat. Ezért a vízpótlás abból a szempontból is fontos lehet, hogy a látens hő formájában történő párolgás hőelvonása megfelelő szinten maradjon (BÁDER, 2025).

Erdei vízpótlások Magyarországon

A következőkben már megvalósult és tervezett vízpótlásokat mutatunk be Magyarországi példákon keresztül.

A hegyvidékek magasabb régiói kifejezetten érzékeny területek, ahol a források, vízfolyások száma kevesebb az erdei kisvízállások stabilitása pedig kizárólagosan a tenyészidőszakban lehulló csapadéktól függ (AMBRUS et al. 2022). Itt alapvetően a lejövő csapadékvizet kell a vízgyűjtőterületeken minél nagyobb arányban felfogni, és azt minél jobban beszivároztatni a talajba.

A Mátrában az éghajlatváltozás indukálta csapadékeloszlás változás a jelentős téli csapadékhiányban (hóhiányban) nyilvánul meg, amit tavaszi aszály, végül talajvíz és talajnedvesség hiány követ. A területen kevés az állandó vízfolyás (Parádi -Trana, Szuha és Zagyva, ami kvázi állandó). Lecsökkent a felszíni vizek vízhozama, ami minőségromlást eredményezett. A nagycsapadékok indukálta villámárvizek, mint a csapadékeloszlás-szélsőség másik véglete szintén problémát jelentenek. A vázolt negatív éghajlati tendenciák okán, a Mátrában a Bükk Nemzeti Park Igazgatóság még 2020-ban a hegyvidéki kételtűfajok sikeres szaporodását elősegítő projektet indított el. Két nagy méretű erdei vízállást rehabilitáltak (megerősítették, stabilizálták a gáttestet, tómederkotrás végeztek, vízszintszabályozó, árapasztó műtárgyat építettek), továbbá 189 kis méretű (2–40 m²) „mütócsát” és 98 kisvízes élőhelyet alakítottak ki utak mentén főleg szivárgóvízes környezetben, ahol 68 esetén lehetett min. egy kételtűfaj jelenlétét kimutatni (AMBRUS et al. 2022). A 2025-ben alakult vízmegtartás munkacsoport az integrált lefolyásmodellezésre alapozottan az erdei vízmegtartást, a villámárvíz csökkentését, s így hordalékfogást, és ivóvízminőség-javítást tűzte ki célul. Az erdőben történő vízvisszatartás eszközeiként konkrétan rönkgátakat, hordalékfogó rőzsegátakat, holtfákat (korona bedöntés a vízfolyásokba), és tókákat alkalmaznának. A villámárvíz-mérséklés gyanánt pedig oldaltározók létesítése, tározóterek kijelölése a feladat. 2060-ra elegyesebb erdőket terveznek kialakítani, őshonos klímaadaptív fajokokkal, ahol folyamatos erdőborítás mellett valósul meg az erdőkezelés (SOMAI, 2025).

A klímaváltozás indukálta heves esők általi villámárvizek a településeket is érintik. A villámárvizek esetén a szürke beruházások mellett a víz, felső vízgyűjtőn való visszatartásával, lelassításával és talajba szivároztatásával védekezhetünk, ellapítva az árhullámcsúcsot, ami jelentősen tudja csökkenteni a villámárvíznek az alsóbb folyásszakaszokon való kockázatát. Az éghajlatváltozás tehát leginkább a víz rendelkezésre állását érinti. Ha a talajba minél nagyobb mértékben tudjuk tárolni a vízkészletet, akkor ellenállóbbá válhatunk ezekkel a csapadék szélsőségekkel szemben. A leírtaknak természetesen természetvédelmi vonatkozásai

is vannak. Mindez elsősorban dombvidéki kis vízgyűjtőkön kivitelezhető, úgy, hogy mindez folyamatos üzemeltetést igényel.

Síkvidéki vízpótlásra példa a Körös-völgy, ahol az aszályos időszak az 1990-es években súlyos kárláncolatot okozott (csúcsszáradás, jelentős rovargradáció). Ezért a Mályvádi és Remetei-erdőben a meglévő természetes medrek és mesterséges lecsapoló csatornák felújításával, duzzasztási rendszer segítségével gravitációsan megvalósított vízpótlást alakítottak ki, amellyel egy 40 km hosszú, 16 ha vízfelülettel rendelkező időszakos vízfolyást hoztak létre. A vizes élőhelyek néhány év alatt regenerálódtak, a fás vegetáció pedig 25 év alatt az erdődifferenciálódás, és a változatosság minden téren való megjelenését mutatta. A magyar kőris állományok jelentősen növekedtek (PUSKÁS, 2021).

A karcag-apavárai erdőterületre jelentős mennyiségű többletvizet engedtek a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság beavatkozásának eredményeként, elősegítve ezzel a térség ökológiai életterének javulását. Az erdőt érintően körülbelül kilenc kilométer hosszúságban teltek fel vízzel a csatornák. A Szolnoki Parkerdő esetében pedig az Eresztőhalmi I. és a Kisgyepi-csatorna szivattyús vízpótlása valósult meg. Az erdőt érintő medrekben mintegy öt kilométeren történt vízpótlás, 200 000 km³ víz átmenelével. A vízpótlásokat a NEFAG Zrt. a 2025-ben indult Víz a tájba! programon belül végezte el, melynek révén javult az erdőterületek talajnedvességtartalma, nőtt a fák számára hasznosítható vízkészletmennyiség, így végső soron javult az egyes fák és az erdők vitalitása (NEFAG Zrt. 2025).

A Duna-szabályozás több évtizedes hatásait illetően a bösi vízlépcső 1992-es egyoldalú üzembe helyezése után a hazai szakaszon a 2–2,5 méteres vízszintcsökkenés jelentősen lecsökkentette a talajvíz szintjét is. Az elzárt mellékágak kiszáradtak, a korábban vízzel telített ártéri élőhelyek összezsugorodtak, és számos helyen szárazodtak ki az ottani erdőállományok. A kárt részben enyhíti az időközben kiépített vízpótló rendszer, amely a Mosoni-Dunán keresztül juttat vissza vizet a mellékágrendszerbe (JAKUS et al. 2024).

A Szigetköz hullámtéri vízszabályozásában az 1998 óta működő Dunakiliti Duzzasztómű tölt be kulcsszerepet. A szigetközi hullámtéri vízpótlás kulcsműtárgya. Az 1995-ben létesített fenékküszöb segítségével a szigetközi hullámtéri vízpótlást biztosítja, és emellett árapasztó szerepe is van. További négy fenékküszöb megépítése van tervben, amelyek a víz-visszatartást és az Öreg-Duna vízszintjének szabályozását segítenék. A Mosoni-sík belső részén belvízkárokkal, míg a széleken aszálykárral küzdenek. A térség erdeinek jövője nagyban függ a vízgazdálkodástól. A vízvisszatartás hatása ezeken területeken nap mint nap tapasztalható, különösen a változatos termőhelyeken, így a lápokon és rétitalajokon. A fokozottan védett, védett területek aránya is jelentős (PATOCSKAI LUNK, 2025).

A Közép-beregi sík természetes élőhelyeit (lápok, rétek, ligeterdők), azok fogynak, degradálódnak, és antropogén hatások, mint az írtásfalvak, erdők megsemmisülése, Tisza-szabályozása és belvízrendezés súlytotta. A LIFE 04 NAT HU 118 LIFE NATURE projekt ezért a vizes élőhelyek vízellátásának javítását, a mikro-, mezoklíma kiegyensúlyozottabbá, hűvösebbé, nedvesebbé tételét, komplex tájrehabilitációt (erdők, legelők), a víz vizes élőhelyekről és a lápokból való lefolyásának megakadályozását, és a Bockerek-erdei vízvisszatartását célozta meg áttöltések, fenékküszöbök, zsilipek, csatornakotrás, szivattyúállások létesítésével, valamint erdősítés és fás legelők kialakításával (OLAJOS et. al. 2009).

A pozitív vízpótlási beavatkozásokra példa a Kaszó LIFE projekt (LIFE12 AT/HU/000593), amely a Nyugat-belső-somogyi kistérségben, a Natura 2000 részét képező Szentai-erdőben található erdőrészletek, kis lápok és gyepek vízellátás-javítását tűzte ki célul. Konkrét beavatkozás a területen található kisvízfolyások lefolyásának lassításával, fenékküszöbök és tározóterek létrehozásával történt 2015-ben, biztosítva ezzel a degradált élőhelyek, különösen a fekete éger (*Fraxinus nigra*) és a magas kőris (*Fraxinus excelsior*) dominálta

ökoszisztémák rehabilitációját. EÖTVÖS-HORVÁTH (2018) kutatásai az általuk létesített víztározók és mederbordák pozitív hatását mutatták ki a talajvízszintekre, ami így elősegíti az élőhelymegőrzést. HERCEG et al. (2024) eredményei azonban rámutatnak, hogy míg a tavak építése és a meglévők rehabilitációja jelentősen befolyásolja a környező kutak vízszintjét, addig a mederbordák esetében ez a hatás kisebb mértékű.

Zárszóként cikkünk témája szempontjából egy aktualitás, hogy 2026 január 06. két nap alatt országsszerte átlagosan 15-20 cm vastagságú hó esett (helyenként 33-35 cm). Az előrejelzések szerint a hóréteg nagyrésze akár hetekig maradhat. A hóban tárolt víz hatékonyabban tud hozzájárulni a felszín alatti vizek feltöltéséhez, mint az esővíz, amennyiben az olvadás lassú (több hetes folyamat), nem fagyott a talaj mélységében, nem tömörödött, degenerált. Utóbbi kettő a túlművelt, túlszántott talajokra vonatkozik, ahol a lefolyás lesz a domináns, még az első két feltétel teljesülése esetén is. (Korábban hazánkban e körülmények szinte minden évben adottak voltak). A 8 445 km²-nyi Bács-Kiskun vármegye területére, amely a Homokhátság nagy részét magában foglalja 18-20 centiméteres hótakaró hullott, a Hungaromet adatai alapján. Az átlagos hóréteg vízaránya 8:1, az olvadó hóé pedig 3:1, Ezért 18 cm hó, 2,25 cm víznek feleltethető meg. Durva becslés alapján 1,9 km³ víz szivároghat be hó formájában a vármegyében. A nagy hóval járó olvadékvíz, azonban komoly belvízvitát indíthat, hiszen a gazdálkodók és önkormányzatok sokasága kezdheti követelni a területi vízügyi igazgatóságoktól régi reflexek alapján, hogy csapolják, vezessék el a „felesleget” a területeikről, vagyis az érdemi talajvízpótlás elmarad [URL1].

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a 143972SNN azonosítószámú OTKA pályázat (NKFIH támogatás), a Slovenian Research and Innovation Agency (N2-0313) pályázata és a kapcsolt TKP2021-NKTA-43 számú projekt támogatta. A TKP2021-NKTA-43 és a 143972SNN számú projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH támogatásával valósult meg. A kutatást az Agrárminisztérium is támogatja.

Irodalomjegyzék

- AMBRUS A. – BOLLA B. – CSÓKA G. – DELI T. – FRANK T. – GRIBOVSKI Z. – HALMAI L. – HEIL B. – HORVÁTH L. – KALICZ P. – KOVÁCS R. – KUČSARA M. – LUKÁCS B. A. – MAGAS G. – PAPP B. – PUSKÁS. – L. – SÁFRÁNY L. – SZABÓ A. – SZITA R. – ZAGYVAINÉ K. K. A. (2023): Erdő és víz – Erdészeti vízgazdálkodás, In: Gribovski Z. – Kucsara M. (szerk.), OEE Szaktudás füzetek, Országos Erdészeti Egyesület, Budapest. pp. 52.
- BÁDER L. (2025): The Climatic Energy Balance Diagram (CEBD) highlights changes in the hydrological cycle of the Danube River basin. *J. Hydrol. Hydromech.*, 73, 2025, 1, 24–33 <https://doi.org/10.2478/johh-2025-0001>
- BAIRD A. J. – WILBY, R. L. (Szerk.) (1999): Plants and water in terrestrial and aquatic environments. In *Eco-Hydrology*, 1st ed.; Taylor & Frances: London, UK.
- BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. (2017): A közelmúlt és a jövő országos éghajlati trendjei. *Erdészeti Lapok*, 152(5), 134–136. http://erdeszetilapok.oszk.hu/01824/pdf/EPA01192_erdeszeti_lapok_2017-05_134-136.pdf
- BÉKÉSI I. – SÓLYOM P. – NAGY T. (2025): Vízvisszatartás lehetőségei a Közép-Tisza területén, mint a területek bemutatásán keresztül, In: Somlyódy Balázs (Szerkesztő), Váradi József (Szerkesztő): A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XLII. Országos Vándorgyűlés dolgozatai. ISBN 978-963-8172-471
- CREED I. – JONES J. – ARCHER, E. – CLAASSEN, M. – ELLISON, D. – MCNULTY S. – VAN NOORDWIJK, M. – VIRA B. – WEI X. – BISHOP, K. – BLANCO J. – GUSH M. – GYAWALI D. – JOBBÁGY E. – LARA A. – LITTLE C. – MARTIN-ORTEGA J. – MUKHERIJ A – MURDIYARSO D. – XU J. (2019): Managing Forests for Both Downstream and Downwind Water. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00064>

- EÖTVÖS C. B. – HORVÁTH L. (2018): A Szentai erdő talajvízszint változásai a Kaszó-life projekt hatására. Erdészettudományi Közlemények. 8. (2) 17–23.
- ELLISON D. – POKORNÝ, J. – WILD, M. (2024): Even cooler insights: On the power of forests to (water the Earth and) cool the planet. *Global Change Biology*, 30, e17195. <https://doi.org/10.1111/gcb.17195>
- GRIBOVSZKI Z. – KALICZ P. – BALOG K. – SZABÓ A. – TÓTH T. – METWALY M. – SZALAI S. (2017): Groundwater uptake of different surface cover and its consequences in great Hungarian plain. *Ecological Processes*. 6. 39–47. <https://doi.org/10.1186/s13717-017-0106-4>
- GRIBOVSZKI Z. – KALICZ P. – Palocz-Andresen, M. - Szalay D. - Varga T. (2019): Hydrological role of Central European forests in changing climate – review. *Időjárás*. 123. 535-550. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2019.4.8>
- HERCEG A. – KALICZ P. – ZAGYVAINÉ KISS K. A. – SZOLGAY J. – HORVÁTH L. GALLAI B. - GRIBOVSZKI, Z. (2024): A vízpótlás talajvízszintre gyakorolt hatásának értékelése egy délnyugat-magyarországi példán keresztül. *Agrokémia és Talajtan* 73 (2). pp. 151-173. ISSN 0002-1873
- IPCC (2022): *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- JAKUS GY. – KERTÉSZ J. – MOHÁCSINÉ SIMON G. – PANNONHALMI M. (2024): Az újjászülető Szigetköz. *Hidrológiai Közlöny* 104 (1), 17-39. <https://doi.org/10.59258/hk.14994>
- KAJNER P. (2022): A megfelelő területhasználat és a vízvisszatartás szerepe a Homokhátság vízhiányának enyhítésében. *Öntözzünk, de miből...?* Budapest, Magyarország: Magyar Természettudományi Társulat, 204 p. ISBN: 9786155015687
- KESZELIOVÁ A. – VÝLETA R. – DANACOVA M. – HLAVČOVÁ K. – SLEZIAK P. – GRIBOVSZKI Z. – SZOLGAY J. (2022): Detection of Changes in Evapotranspiration on a Catchment Scale Under Changing Climate Conditions in Selected River Basins of Slovakia. *Slovak Journal of Civil Engineering*. 30. 55-63. <https://doi.org/10.2478/sjce-2022-0029>
- KONFÁR I. (2025): A Homokhátság vízrendezése: történet, indokok és következmények, <https://agrojager.hu/mezogazdasag/2025/11/05/a-homokhatsag-vizrendezese-tortenet-indokok-es-kovetkezmények/>
- LAKATOS M. – BIHARI Z. – IZSÁK B. – MARTON A. – SZENTES O. (2021a): Megfigyelt éghajlat változások Magyarországon, *Léghkör*, 66: 3, ISSN 0 133-3666
- LAKATOS M. – SZENTES O. – KALIN, K. C. – NIMAC, I. – KOZJEK, K. – CHEVAL S. – DUMITRESCU A. – IRAŞOC A. – STEPANEK P. – FARDA A. et al. (2021b): Analysis of Sub-Daily Precipitation for the PannEx Region, *Atmosphere* 12, no. 7: 838. <https://doi.org/10.3390/atmos12070838>
- LÁNG I. (2025): A vízgazdálkodás jelene és jövője a klímaváltozás tükrében, In: „Erdő és víz – a klímaváltozás árnyékában”, Országos Erdészeti Egyesület konferencia
- LENDÉR H. (2016): A klímaváltozás hatása a felszíni vízgazdálkodásra. *Döntéstámogató tanulmány „A klímaváltozás hatása a villámárvíz kockázatra”* valamint „A Balaton vízforgalmának a klímaváltozás hatására becsült változása” című tanulmányok alapján, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet
- MAGYAR E. (2015): A Duna-Tisza közti Homokhátság vízgazdálkodási kérdései. Speciális területi fórum. Fejlesztési elképzelések a Duna-Tisza közti Hátság térségében a klímaváltozásból eredő hatások enyhítésére, a vízhiányos ökológiai állapot javítására. Előadás. 2015. 08.27. Baja. https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/presentations/70EAC8E8-DDED-424F-8577-81C5462296EE/magyar_emoke_homokhatsag.pptx
- MÁTYÁS C. – BERKI I. – BIDLÓ A. – CSÓKA G. – CZIMBER K. – FÜHRER E. – GÁLOS B. – GRIBOVSZKI Z. – ILLÉS G. – HIRKA A. – SOMOGYI Z. (2018): Sustainability of Forest Cover under Climate Change on the Temperate-Continental Xeric Limits. *Forests*, 9, pp. 489. <https://doi.org/10.3390/f9080489>
- NAGY L. (szerk) (2025a): Erdő és víz – a klímaváltozás árnyékában. In: Nagy László, Csóka György, Duska József, Elmer Tamás, Gribovszki Zoltán, Kiss Csaba, Lomniczi Gergely, Puskás Lajos,

- Schiberna Endre, Sipos Sándor, Szentpéteri Sándor, Wisnovszky Károly (Szerk.) Erdészeti Lapok CLX. évf. 10. szám (2025. október)
- NAGY L. (Szerk.) (2025b): Megalakult az Erdészeti Klímaadaptációs Fórum, In: Nagy László, Csóka György, Duska József, Elmer Tamás, Gribovszki Zoltán, Kiss Csaba, Lomniczi Gergely, Puskás Lajos, Schiberna Endre, Sipos Sándor, Szentpéteri Sándor, Wisnovszky Károly (Szerk.) Erdészeti Lapok CLX. évfolyam 09. szám (szeptember)
- NEFAG Zrt. (2025): Ökológiai vízpótlások a NEFAG Zrt. erdőterületein, In: Nagy László, Csóka György, Duska József, Elmer Tamás, Gribovszki Zoltán, Kiss Csaba, Lomniczi Gergely, Puskás Lajos, Schiberna Endre, Sipos Sándor, Szentpéteri Sándor, Wisnovszky Károly (Szerk.) Erdészeti Lapok CLX. évfolyam 09. szám (szeptember)
- OLAJOS P. et al. (2009): ‘„A Közép-Beregi sík komplex élőhely-rehabilitációja” LIFE program eredményei (2005-2008)’, in Körmöczy, L. (ed.) 8. Magyar Ökológus Konferencia. Szeged, HU, p. 167.
- ORSZÁGOS VÍZÜGYI FŐIGAZGATÓSÁG (2022): Tájékoztató a Nyírség vízgazdálkodásának – vízpótlás, víztározás és helyi vízviasszatartás megvalósításával történő – fejlesztéséről, Konceptiótanulmány
- PATOSKAI LUNK E. (2025): Vizek földjén, Erdészeti Lapok CLX. évfolyam 1X. szám (szeptember), In: Nagy László, Csóka György, Duska József, Elmer Tamás, Gribovszki Zoltán, Kiss Csaba, Lomniczi Gergely, Puskás Lajos, Schiberna Endre, Sipos Sándor, Szentpéteri Sándor, Wisnovszky Károly (Szerk.) Erdészeti Lapok CLX. évfolyam 09. szám (szeptember)
- PUSKÁS L. (2021): 25 évnyi ökológiai vízpótlás a Fekete-Körös erdeiben, Erdészeti Lapok CLVI. évf. 7–8. szám (2021. július–augusztus), pp 246-249.
- SOMAI G. – GUBACSI G. – JUHÁSZ E. – FARKAS M. – SELMECZI P. – KONCZ P. (2025): Mátra 2060. Vízmegtartás munkacsoport.
- SOMOGYI N. – CZÓBEL SZ. – BOROVICS A. (2025): A klímaváltozás erdőkre gyakorolt hatásai a Duna–Tisza közti Homokhátságon, In: Nagy László, Csóka György, Duska József, Elmer Tamás, Gribovszki Zoltán, Kiss Csaba, Lomniczi Gergely, Puskás Lajos, Schiberna Endre, Sipos Sándor, Szentpéteri Sándor, Wisnovszky Károly (Szerk.) Erdészeti Lapok CLX. évfolyam 09. szám (szeptember)
- STOJANOVIĆ D.B. – LEVANIĆ T. – MATOVIĆ B. (2015): Growth decrease and mortality of oak floodplain forests as a response to change of water regime and climate. *Eur. J. Forest Res.* 134. 555–567. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0871-5>
- TRAN H. – FEHÉR ZS. Z. – TÚRI N. – RAKONCZAI J. (2022): Climate change as an environmental threat on the central plains of the Carpathian Basin based on regional water balances. *Geographica Pannonica.* 26. (3) 184–199.
- XANKE J. – LIESCH T. (2022): Quantification and possible causes of declining groundwater resources in the Euro-Mediterranean region from 2003 to 2020. *Hydrogeology Journal* 30, 379–400. <https://doi.org/10.1007/s10040-021-02448-3>
- [URL1]: https://www.valaszonline.hu/2026/01/08/havazas-idojaras-vizpotlas-alfold-olvas/?fbclid=IwY2xjawPRovpleHRuA2FlbQIxMABicmlkETAzVnhHWEI3YW0zbFlp-VkZRc3J0YwZhcHBfaWQQMjIyMDM5MTc4ODIwMDg5MgAB-HkkUJ3N5aT9cPkSyFXUFxd2hG658EEvrHZbqrh5RrVW6N8nwa-ltWABu6c-L_aem_FEj-SonOfCN_7VNVCTOuAIw

A BAJTI NEMESÍTŐ TELEP AGRÁRERDÉSZETI RENDSZERÉBEN TERMELT GYÓGYNÖVÉNYEK ANTIOXIDÁNS TARTALMÁNAK VIZSGÁLATA

Examination of the antioxidant content of medicinal plants grown in the agroforestry system of the Bajti Breeding Plant

HOFMANN TAMÁS, BENKE DÉNES, VISINÉ RAJCZI ESZTER
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet és Természetvédelmi Intézet
hofmann.tamas@uni-sopron.hu

Kivonat

Jelen munkában a Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti rendszerében, különböző talajtakarási módszerekkel (mulcs, méhlegelő, geotextil, kontroll) termesztett három gyógynövényfaj: a mezei sóska (*Rumex acetosa* L.), a lándzsás útifű (*Plantago lanceolata* L.) és a kis télizöld (*Vinca minor* L.) vizsgálatát végeztük el antioxidáns kapacitás meghatározási módszerekkel (FRAP, TPC, DPPH) és kromatográfiai eljárásokkal. Vizsgáltuk, hogy az antioxidáns tartalom tekintetében melyik termesztési módszer a legelőnyösebb, és milyen főbb antioxidáns hatású szerves savakat és polifenolos vegyületeket tartalmaznak az egyes növények. Megállapítottuk, hogy a legmagasabb antioxidáns tartalmat eredményező talajtakarás növényfajonként változik. Az eredményeink hozzájárulnak az agrárerdészeti rendszerekben termelt gyógynövények jövőbeli jobb hasznosíthatóságához.

Abstract

In this study three medicinal plant species grown using different soil cover methods (mulch, bee pasture, geotextile, control) in the agricultural forestry system of the Bajti Breeding Plant were examined: common sorrel (*Rumex acetosa* L.), ribwort plantain (*Plantago lanceolata* L.) and lesser periwinkle (*Vinca minor* L.) using antioxidant capacity determination methods (FRAP, TPC, DPPH) and chromatographic methods. We examined which cultivation method is most advantageous in terms of antioxidant content and which organic acids and polyphenolic compounds with antioxidant effects are contained in each plant. We found that the soil covering method resulting in the highest antioxidant content varies depending on the plant species. Results contribute to the future better utilization of medicinal plants grown in agroforestry systems.

Bevezetés

Az agrárerdészet azon földhasználatok gyűjtőneve, ahol egyazon földrészleten tervezetten természetnek fás szárú évelő növényeket és mezőgazdasági terményeket és/vagy tartanak állatokat; akár térbeli, akár időbeli eltéréssel (LUNDGREEN - RAINTREE 1982). Az agrárerdészeti rendszerek egyik legnagyobb előnye emellett, hogy lehetőség nyílik minőségi faanyag termelésére a terület mezőgazdasági termelésből való kivonása nélkül (VITYI et al. 2019). Magyarországon az agrárerdészeti rendszerek közül hagyományosan a különböző erdősávok és a fás legelők voltak viszonylag elterjedtek, ám ezek száma ma visszaszorulóban van. A LUCAS (Land Use/Cover Area frame statistical Survey) adatbázis szerint Magyarország területén 38.100 ha területen gazdálkodnak agrárerdészeti rendszerekben (DEN HERDER et al. 2017). A mezőgazdasági területek magas aránya miatt (az ország területének 55%-a) adottak a lehetőségek a modern agrárerdészeti rendszerek szélesebb körben való alkalmazására.

Jelen munkánk célja, hogy megvizsgáljuk a Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti rendszerében termesztett három gyógynövényfaj (mezei sóska (*Rumex acetosa* L.), lándzsás útifű (*Plantago lanceolata* L.) és kis télizöld (*Vinca minor* L.) antioxidáns tartalmát különböző

talajtakarási módszerek mellett. Az antioxidáns tartalmat felmértük a TPC, FRAP és DPPH módszerekkel, valamint meghatároztuk a legfontosabb szerves savak koncentrációját is. A minták polifenol készletének profilozását nagy hatékonyságú folyadékkromatográfia / több-lépcsős tömegspektrometriával (HPLC-MS/MS) végeztük el. A kutatás célja kideríteni, hogy a jövőbeli alkalmazás szempontjából melyik termesztési módszer a legelőnyösebb, illetve milyen polifenolos vegyületeket tartalmaznak az egyes növények extraktumai.

Anyag és módszer

Mintavétel: A kutatáshoz a minták a Bajti Nemesítő Telep területéről kerültek begyűjtésre. A területen 17 sorban összesen 170 'I-214' fajtájú euroamerikai nyárat (*Populus euramericana* (Dode) Guiner cv. 'I-214') helyeztek el. A sorok között különböző lágyszárú növényfajokat termesztnek, 8 parcellán a kis télizöldet. Az egyes parcellák a sorok közt helyezkednek el, két különálló, véletlenszerűen elhelyezett parcellát készítettek mindhárom talajtakaráshoz (geotextília, mulcs, méhlegelő). A kontroll terület a fasorokon kívül található, ahol nincs árnyékolás, és nem alkalmaztak talajtakarást sem. A mintavétel időpontja 2024. május 9. volt.

Extrakció: Az egyes parcellákról véletlenszerűen válogatva, 200 g leveles hajtást gyűjtöttünk be. Amintákat liofilizáltuk (Wave FD260 liofilizáló, Wave Trockensysteme GmbH, Bécs, Ausztria) majd kávédarálóval felaprítottuk, és 0,2 g mennyiségeket 40 ml 50%-os vizes metanollal extraháltuk ultrahangos fürdőben (3x10 percig, 26-30 °C, Elma Transsonic T570, Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Németország). A kivonatokat centrifugáltuk (2x10 perc, 13000/min fordulatszámon).

FRAP meghatározás: A mérés során 50 µl extraktumhoz 1,5 ml FRAP-reagenst adtunk. Az 5 perces reakcióidő után, 593 nm-en mértük a minta fényelnyelését spektrofotométerrel (Shimadzu UV 2600). Minden mintán három párhuzamos mérést végeztünk el. Standard vegyületként aszkorbinsavat használtunk, az eredményeket mg aszkorbinsav egyenérték/g növényi szárazanyag mértékegységben adtuk meg (mg AE/g sz.a.) (BENZIE – STRAIN 1996).

TPC meghatározás: 100 µl extraktumhoz 400 µl 50%-os vizes metanolt, majd 2,5 ml Folin-Ciocalteu reagenst adtunk. Körülbelül 1 perc elteltével 2,0 ml 0,7 M Na₂CO₃-oldatot pipetáztunk a mintákhoz. Ezután az oldatokat 50°C-os vízfürdőbe helyeztük 5 percre, majd visszahűtés után a kék színű reakcióoldat 760 nm hullámhosszúságú fényelnyelését mértük. Minden mintán három párhuzamos mérést végeztünk. Standard vegyületként galluszsavat használtunk, az eredményeket mg galluszsav egyenérték/g száraz növény mértékegységben adtuk meg (mg GE/g sz.a.) (SINGLETON – ROSSI 1965).

DPPH meghatározás: 100 µl extraktumhoz 100 µl 50%-os vizes metanolt és 2,8 ml DPPH oldatot (80 mM metanolban oldva) adtunk, majd 30 percen keresztül letakarva, sötét helyen tároltuk. Az inkubációs idő elteltével mérjük az abszorbanciát (515 nm). Mindegyik mintán három párhuzamos mérést végeztünk el (VISINÉ RAJCZI et al. 2024). Az antioxidáns kapacitás értékét mg trolox egyenérték/g növényi szárazanyag mértékegységben adtuk meg (mg TE/g sz.a.).

Folyadékkromatográfias vizsgálatok: Az elválasztáshoz egy Shimadzu LC-20 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japán) folyadékkromatográfot használtunk. A detektálás egy diódasoros detektorral (Shimadzu SPD 20M) és egy AB Sciex 3200 QTRAP® LC/MS/MS hármas kvadrupól/lineáris ioncsapda típusú tömegspektrométerrel történt (Sciex, Framingham, USA). ***Szerves savak meghatározása:*** A szerves savakat (oxálsav, citromsav, borkősav és borostyánkősav) egy Bio-Rad Aminex HPX-87H oszlopon (Bio-Rad Laboratories Inc., Hercules, USA) 60 °C hőmérsékleten 0,6 ml/perc áramlású 0,005 M H₂SO₄ mozgófázissal választottuk el. Az injektált térfogat 20 µl volt. A detektálás és mennyiségi kiértékelés 205-

210 nm hullámhosszon történt. Mintánként három párhuzamos mérést végeztünk. Savtartalmakat tömegszázalékban adtuk meg, a bemért száraz növényi mintára vonatkoztatva. *Polifenolok profilozása*: A kivonatok elválasztásához egy Phenomenex, Synergy Fusion C18, 2,6 μm , 150 mm x 4,6 mm oszlopot használtunk Phenomenex SecurityGuard ULTRA LC előtétoszloppal. A elválasztást 40 °C-on végeztük el A (víz + 0,1% hangyasav) és B (acetonitril + 0,1% hangyasav) gradiens alkalmazásával (3% B (0-4 min), 6% B (10 min), 20% B (34 min), 57% B (73 min), 100% B (90-98 min), 3% B (99-106 min)) 1,2 ml/min áramlási sebesség mellett. Detektálás: 250-380 nm hullámhossztartományon. A polifenolok profilozása és minőségi azonosítása tömegspektrometrián történt a szerzők által korábban ismertett módszer szerint (HOFMANN et al. 2021).

Kiértékelés: Az eredmények összehasonlításához a Statistica 8 szoftvert (StatSoft Inc., Tulsa, USA) használtuk. A számolási módszer Tukey HSD, $p < 0,05$, a varianciák homogenitását Bartlett-próbával ellenőriztük.

Eredmények

TPC, FRAP, DPPH antioxidáns kapacitás és szerves savtartalom

Az antioxidáns kapacitás és szerves savtartalom értékeit az 1. Táblázat foglalja össze.

A *mezei sóska* extraktumok esetében mindhárom módszerrel a „mulcs” minták esetében mértük a legnagyobb antioxidáns kapacitást. A szerves sav tartalmak vizsgálata során szintén a „mulcs” mintákban találtuk a legmagasabb oxálsav, borkósav és borostyánkősav mennyiséget. A citromsav tartalom mérésekor egyik talajtakarási módszer esetében sem mértünk a kontrollhoz képest szignifikánsan magasabb értéket. Az általunk mért oxálsav értékek a szakirodalmi adatokkal összehasonlítható nagyságrendűek.

A *lándzsás útifű* extraktumok antioxidáns kapacitás és savtartalom értékei vizsgálata során megállapítottuk, hogy talajtakarási módszerrel sem érhető el szignifikánsan magasabb antioxidáns tartalom a „kontroll” mintákhoz képest. A legmagasabb citromsav tartalmat a „mulcs” mintákban, a legmagasabb borostyánkősav tartalmat a „méhlegelő” mintákban mértük.

A *kis télizöld* esetében megállapítottuk, hogy egyik talajtakarási módszerrel sem érhető el magasabb antioxidáns kapacitás, a kontrollhoz képest, mely eredmények szintén összhangban vannak korábbi mérési eredményeinkkel (BENKE et al. 2024, VISINÉ RAJCSI et al. 2024). A szerves savak tekintetében egyedül citromsavat sikerült azonosítani, amelyből a legnagyobb mennyiség a „méhlegelő” mintában mértük.

Polifenolok elválasztása és azonosítása

A polifenolok növényekben található biológiailag aktív antioxidáns hatású vegyületek, amelyek fő feladata a biotikus (kórokozók és károsítók) és az abiotikus (időjárás, mechanikai sérülések stb.) stresszhatások elleni kémiai védekezés (LU et al. 2019). A kivonatok főbb polifenolos összetevőit a 2. Táblázat foglalja össze. A kromatográfiás elválasztással kapott kromatogramok csúcsaihoz tartozó tömegspektrumok kiértékelése során összesen 60 vegyület szerkezetét vizsgáltuk és azonosítottunk. Példaként a mezei sóska kromatogramját az 1. ábra szemlélteti.

1. Táblázat: A vizsgált minták TPC (mg GE/g szá.), FRAP (mg AE/g szá.) és DPPH (mg TE/g szá.) antioxidáns kapacitás értékei (átlag \pm szórás) és szerves savtartalma különböző talajtakarások esetében. ko: kontroll, geo: geotextília, méh: méhlegelő. A kontroll értékek félkövér betűtípussal kerültek jelölésre. Egy adott faj esetében egy adott oszlopban a

különböző kategóriákba (a-b, a-c, a-b) sorolt minták átlagértékei szignifikánsan eltérnek $p < 0,04$ szinten.

<i>Mezei sóska</i>							
	TPC (mg GE/g sza)	FRAP (mg AE/g sza)	DPPH (mg TE/g sza)	oxálsav (m/m%)	citromsav (m/m%)	borkósav (m/m%)	borostyánkősav (m/m%)
ko.	29,3 ± 0,4^a	18,0 ± 0,6^a	33,8 ± 0,1^a	3,67 ± 0,08^a	0,62 ± 0,02^a	3,04 ± 0,16^a	0,91 ± 0,08^{ab}
geo.	31,4 ± 1,1 ^a	20,5 ± 0,4 ^b	36,2 ± 1,8 ^a	3,89 ± 0,11 ^a	0,46 ± 0,04 ^c	3,30 ± 0,09 ^{ab}	0,91 ± 0,02 ^{ab}
mulcs	50,9 ± 0,8 ^b	29,5 ± 1,3 ^c	44,7 ± 2,1 ^b	6,23 ± 0,12 ^b	0,33 ± 0,02 ^b	3,61 ± 0,21 ^b	1,02 ± 0,02 ^b
méh.	29,4 ± 0,6 ^a	18,8 ± 0,3 ^{ab}	36,2 ± 2,0 ^a	3,66 ± 0,13 ^a	0,57 ± 0,02 ^a	2,97 ± 0,12 ^a	0,85 ± 0,01 ^a
<i>Lándzsás útifű</i>							
	TPC (mg GE/g sza)	FRAP (mg AE/g sza)	DPPH (mg TE/g sza)	oxálsav (m/m%)	citromsav (m/m%)	borkósav (m/m%)	borostyánkősav (m/m%)
ko.	77,8 ± 0,9^d	56,8 ± 1,0^d	198,9 ± 1,7^c	-	0,59 ± 0,02^c	-	1,04 ± 0,06^a
geo.	71,5 ± 0,8 ^c	53,0 ± 0,9 ^c	171,8 ± 4,7 ^b	-	0,51 ± 0,01 ^b	-	1,05 ± 0,07 ^a
mulcs	57,8 ± 1,2 ^b	46,6 ± 1,5 ^b	155,2 ± 4,8 ^a	-	0,71 ± 0,02 ^d	-	1,06 ± 0,05 ^a
méh.	52,4 ± 1,1 ^a	43,3 ± 0,7 ^a	150,1 ± 4,2 ^a	-	0,37 ± 0,01 ^a	-	1,24 ± 0,01 ^b
<i>Kis télizöld</i>							
	TPC (mg GE/g sza)	FRAP (mg AE/g sza)	DPPH (mg TE/g sza)	oxálsav (m/m%)	citromsav (m/m%)	borkósav (m/m%)	borostyánkősav (m/m%)
ko.	31,0 ± 0,6^c	21,6 ± 0,4^b	55,8 ± 3,9^b	-	0,05 ± 0,01^a	-	-
geo.	28,4 ± 1,1 ^{ab}	18,5 ± 0,3 ^a	50,1 ± 0,6 ^{ab}	-	0,09 ± 0,01 ^b	-	-
mulcs	29,6 ± 0,6 ^{bc}	20,1 ± 0,6 ^b	50,1 ± 1,4 ^{ab}	-	0,16 ± 0,01 ^c	-	-
méh.	27,6 ± 0,2 ^a	17,5 ± 0,9 ^a	44,5 ± 2,2 ^a	-	0,18 ± 0,01 ^d	-	-

A *mezei sóska* esetében 19 féle vegyületet sikerült azonosítani. A mérés során a mintákban kávéssavat és rutint sikerült detektálni, illetve nagy számban fordultak elő a kvercetin-, ferulasav-, kávéssav-származékok, klorogénsav izomerek és *p*-kumaroilkinásav izomerek. A legnagyobb mennyiségben előforduló vegyületek a *p*-kumaroilkinásav izomerek (**5**, **7**), a **30** és **40** számú kvercetin-származék voltak. Kávéssavból (**2**), a **3** számú klorogénsav izomerekből, *p*-kumaroilkinásav izomerekből (**5**, **7**), a **10** számú ismeretlen vegyületből, illetve a **41** számú kvercetin-származékból a „mulcs” mintákban mértük a legmagasabb mennyiséget mely mintában a legmagasabb antioxidáns kapacitást is mértük (ld 1. Táblázat), mely alátámasztja hogy a sóska mintában a polifenolos vegyületek döntően hozzájárulnak az antioxidáns kapacitás kialakításához.

A *lándzsás útifű* vizsgálata során 21 féle vegyületet azonosítottunk, köztük kávéssavat és számos kávéssav származékot. Ezen kívül a mintákban jelen voltak klorogénsav izomerek, galuszsav származékok, *p*-kumaroilkinásav izomerek és ferulasav származékok. A lándzsás útifű esetében a kromatográfiás elválasztás során egyik talajtakarási módszer esetében sem tapasztalható, hogy valamelyik polifenolos vegyületből számottevően magasabb mennyiség lenne jelen. Az antioxidáns kapacitás meghatározás során (1. Táblázat) mindhárom módszer

esetében a „kontroll” minták rendelkeztek a legmagasabb értékkel, a kromatogram más tendenciát mutat. Ennek értelmezése további vizsgálatokat igényel.

A *kis télizöld* esetében 25 vegyületet sikerült azonosítani. A növény extraktumaiban számos *p*-kumársav-, ferulasav-, kinasav- és kvercetin származék és klorogénsav izomert mutattunk ki. Ciorita et al. (2021) jelentős mennyiségű klorogénsavat, továbbá kávéssavat és kisebb mennyiségben rutint és kvercetin is azonosítottak az extraktumokban. Sezer és Uysal (2018) a *kis télizöld* vizsgálata során szintén klorogénsavat, kvercetin és kávéssavat mutatott ki legnagyobb mennyiségben. A *kis télizöld* extraktumok kromatogramjairól elmondható, hogy igazodik az antioxidáns tartalom vizsgálatok során kapott eredményekhez – habár a talajtakarások közt szignifikáns eltérést csak a FRAP módszer esetébe kaptunk. A „kontroll” és a „mulcs” minták görbéi némileg magasabb értékeket vesznek fel, számottevő különbség egyetlen esetben áll fenn. Az egyetlen kiugró csúcs a **19** számú kvercetin származékhoz tartozik, amelyből a „kontroll” mintában volt a legmagasabb mennyiség. A mérési eredmények alapján feltételezhető, hogy a *kis télizöld*ben a polifenolokon és a szerves savakon kívül más anyagok is befolyásolják a mért antioxidáns kapacitás értékeit.

2. Táblázat: A mezei sóska (*S*), lándzsás útifű (*Ú*) és a *kis télizöld* (*T*) polifenoljainak folyadék-kromatográfiás/tömegspektrometriás azonosítása. *M-H*: anyaiion, *x*: kimutatható, *nk*: nem kimutatható.

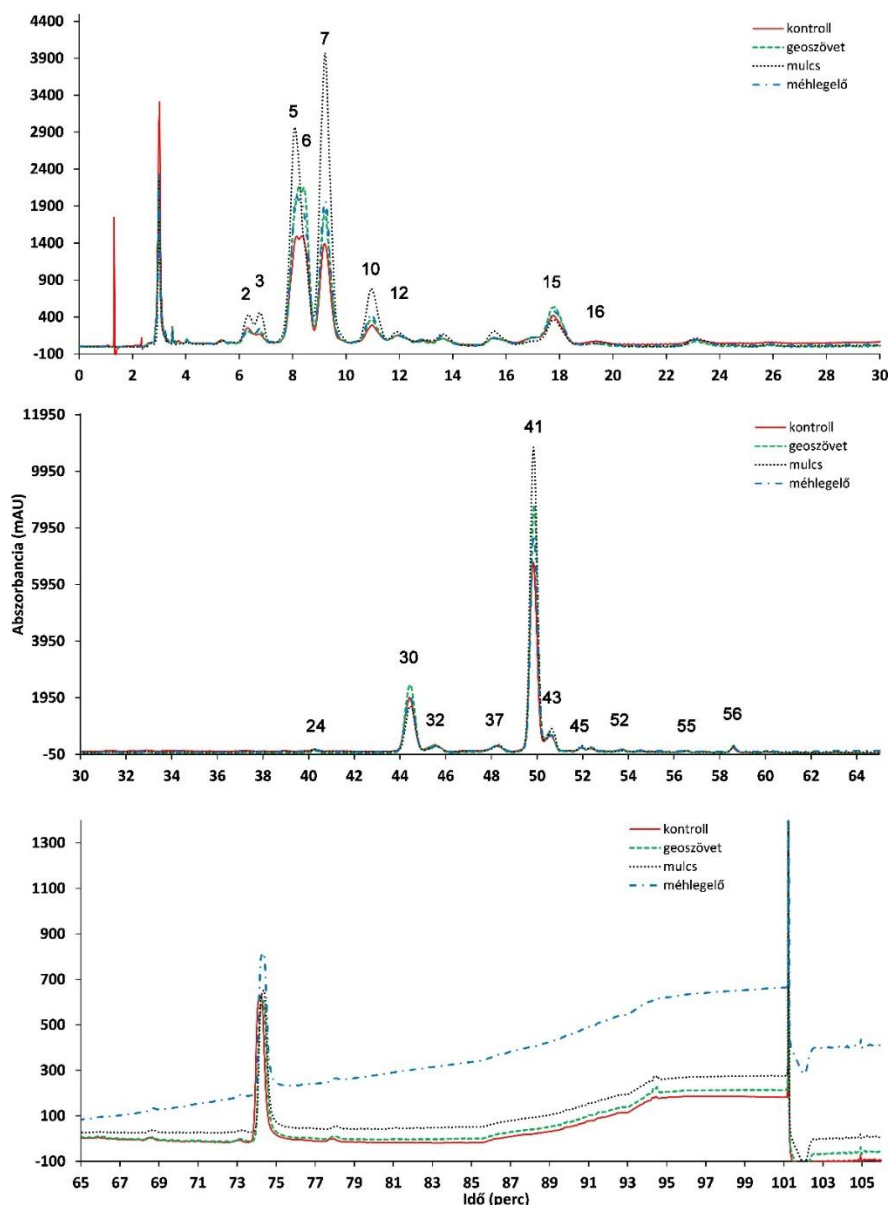
Csúcs	<i>t_r</i> (perc)	Vegyület neve	S	Ú	T	[M-H] ⁻ m/z
1	6,15	dihydroxibenzoesav- <i>O</i> -hex. származék			x	653
2	6,33	kávéssav	x			179
3	6,8	klorogénsav izomer1	x	x		353
4	8,09	galluszsav- <i>O</i> -hex. származék 1		x		375
5	8,2	<i>p</i> -kumaroilkinasav izomer1	x	x		337
6	8,36	kávéssav- <i>O</i> -hexozid	x			341
7	9,19	<i>p</i> -kumaroilkinasav izomer2	x	x		337
8	9,7	<i>p</i> -kumársav- <i>O</i> -hexozid származék			x	325
9	10,4	galluszsav- <i>O</i> -hexozid származék			x	375
10	10,98	ismeretlen1	x			447
11	11,5	ismeretlen2			x	411
12	11,89	ismeretlen3	x			367
13	13,15	klorogénsav izomer2			x	353
14	16,48	klorogénsav izomer3		x	x	353
15	17,77	ismeretlen4	x			355
16	19,64	(+)-katechin	x			289
17	28,4	ismeretlen5			x	377
18	33,1	kvercetin- <i>O</i> -hex.-deoxihexozid-hexozid1			x	771
19	34,4	kvercetin- <i>O</i> -hexozid-deoxihexozid-hexozid2			x	771
20	35,33	kempferol- <i>O</i> -hexozid-deoxihexozid-hexozid1			x	775
21	37,4	kávéssav- <i>O</i> -hexozid származék1		x		639
22	38,1	kempferol- <i>O</i> -hex.-deoxihexozid-hexozid2			x	775
23	38,6	kávéssav- <i>O</i> -dihexozid származék1		x		785
24	40,26	kvercetin- <i>O</i> -acetyl-hexozid származék	x			813
25	40,98	kávéssav- <i>O</i> -hexozid származék2		x		639
26	42,45	kávéssav-származék		x		835
27	43,11	kávéssav- <i>O</i> -hexozid származék3		x		623
28	43,14	ismeretlen6			x	513

29	43,4	kávésav- <i>O</i> -hexozid származék4		x		623
30	44,42	kvercetin-származék1	x		x	609
31	44,8	kávésav- <i>O</i> -hexozid származék5		x		651
32	45,53	kvercetin- <i>O</i> -hexozid	x			463
33	45,61	kvercetin-származék2			x	609
34	46,48	ismeretlen7		x		637
35	47,1	kávésav- <i>O</i> -hexozid-ramnozid származék		x		769
36	47,3	kempferol- <i>O</i> -rutinozid1			x	593
37	48,28	kvercetin- <i>O</i> -pentozid	x			433
38	48,42	ferulasav- <i>O</i> -glükuronid származék		x		989
39	49,1	kávésav- <i>O</i> -dihexozid származék2		x		653
40	49,73	kempferol- <i>O</i> -rutinozid2			x	593
41	49,84	kvercetin- <i>O</i> -ramnozid- <i>O</i> -acetyl-ramnozid1	x			651
42	50,52	kávésav- <i>O</i> -hexozid származék6			x	537
43	50,57	kvercetin- <i>O</i> -ramnozid- <i>O</i> -acetyl-ramnozid2	x			651
44	51,5	kávésav- <i>O</i> -dihexozid-glükuronid származék		x		1111
45	51,93	kempferol- <i>O</i> -acetyl-hexozid származék	x			653
46	52,26	<i>p</i> -kumársav- <i>O</i> -hexozid-ramnozid származék1			x	521
47	52,5	kávésav- <i>O</i> -ramnozid származék		x		1139
48	52,55	kínasav származék1			x	705
49	52,6	ferulasav- <i>O</i> -glükuronid származék		x		475
50	52,9	ismeretlen- <i>O</i> -glükuronid származék		x		461
51	53,54	<i>p</i> -kumársav- <i>O</i> -hexozid-ramnozid származék2			x	521
52	53,71	ferulasav- <i>O</i> -dihexozid- <i>O</i> -glükuronid	x			693
53	53,91	kínasav származék2			x	705
54	55,56	kávésav- <i>O</i> -hexozid származék7		x		1153
55	56,5	ferulasav- <i>O</i> -dihexozid származék	x			735
56	58,58	rutin	x			609
57	74,3	<i>p</i> -kumársav- <i>O</i> -ramnozid származék1			x	617
58	78,73	<i>p</i> -kumársav- <i>O</i> -ramnozid származék2			x	617
59	79,54	ferulasav származék1			x	647
60	80,45	ferulasav származék2			x	647

Következtetések

A mezei sóska vizsgálata során a „mulcs” mintákban mértük a legmagasabb antioxidáns kapacitást, a legmagasabb szerves savtartalmakat (oxálsav, borkósav és borostyánkósav) és a 19 legfontosabb polifenolos összetevő közül 6 vegyületnél (kávésav; klorogénsav izomer1; *p*-kumaroilkínasav izomer1 és 2; ismeretlen1; kvercetin-*O*-ramnozid-*O*-acetyl-ramnozid1) kimagaslóan nagy értékeket mértünk. A sóskával ellentétben a lándzsás útifű és a kis télizöld esetében egyik talajtakarás sem járult hozzá az antioxidáns kapacitás szignifikáns növekedéséhez a kontrollhoz képest. A lándzsás útifűben 21 féle vegyületet azonosítottunk, amelyekből az egyik kávésav származék volt a legnagyobb mennyiségben megtalálható. Egyik talajtakarási módszer esetében sem tapasztalható, hogy valamelyik polifenolos vegyületből számottevően magasabb mennyiség lenne jelen, mint a többi mintában. Feltételezhetőleg a lándzsás útifűben a polifenolok mellett más anyagok (pl. nagy mennyiségben jelen lévő nem-polifenolos antioxidáns hatással rendelkező fitoaktív anyagok, mint az aukubin) is hozzájárulnak a kivonatok antioxidáns hatásához. A kis télizöld esetében 25 féle vegyületet azonosítottunk, legnagyobb mennyiségben egy dihiroxibenzoészav származék, egy kvercetin származék és két kempferol származék volt jelen. A lándzsás útifű és a kis télizöld mintákból

kiegészítő vizsgálatok szükségesek további, akár nem antioxidáns hatású, de élelmiszeripari és gyógyszeripari hasznosítás szempontjából kiemelt jelentőségű fitoaktív vegyületeinek összehasonlító elemzésére. Az eredmények hozzájárulnak az agrárerdészeti rendszerekben termelt gyógynövények kémiai összetételének kutatásához, és az adatok alapul szolgálhatnak a jelen, valamint további fajokon végzett kísérletek tervezéséhez.



1. ábra: A mezei sóska extraktumainak kromatogramja UV (250-380 nm). piros: kontroll, zöld: geosövet, fekete: mulcs, kék: méhlegelő. Vegyületek számozása a 2. Táblázatban.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás megvalósítását a következő projektek támogatták: REFOREST - Agroforestry at the forefront of farming sustainability in multifunctional landscapes in Europe, 101060635 (<https://agroforest.eu/>), AGROSUS (Agroecological strategies for sustainable weed management in key European crops), 101084084 (<https://agrosus.eu/>) és 2020-2.1.1-ED-2023-00238 (101084084 Horizon Europe projekthez kapcsolódó kormányzati önerő támogatás).

Irodalomjegyzék

- BENKE D. – VISINÉ RAJCZI E. – HOFMANN T. (2024): Antioxidant capacity of medical plants produced in agroforestry system. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen* 66: 35-47.
- BENZIE I.F.F. – STRAIN J.J. (1996): The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry* 239(1): 70-76.
- CIORITA A. – ZAGREAN-TUZA C. – MOT A.C. – CARPA R. – PARVU M. (2021): The Phytochemical Analysis of Vinca L. Species Leaf Extracts Is Correlated with the Antioxidant, Antibacterial, and Antitumor Effects. *Molecules* 26(10): 3040.
- DEN HERDER M. – MORENO G. – MOSQUERA-LOSADA R.M. – PALMA J.H.N. – SIDIROPOULOU A. – FREJANES J.J.S. – CROUS-DURAN J. – PAULO J.A. – TOMÉ M. – PANTERA A. – PAPANASTASIS V.P. – MANTZANAS K. – PACHANA P. – PAPADOPOULOS A. – PLIENINGER T. – BURGESS P.J. (2017): Current extent and stratification of agroforestry in the European Union. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 241: 121-132.
- HOFMANN T. – VISI-RAJCZI E. – ALBERT L. (2021): Antioxidant Properties and Polyphenol Screening of the Leaves of Native Hungarian Oak (*Quercus*) Species. *Current Bioactive Compounds* 18: e010921191387.
- LU Y. – DU Y. – QIN X. – WU H. – HUANG Y. – CHENG Y. – WEI Y. (2019): Comprehensive evaluation of effective polyphenols in apple leaves and their combinatory antioxidant and neuro-protective activities. *Industrial Crops and Products* 129: 242-252.
- LUNDGREN B.O. – RAINTREE J.B. (1983): Sustained Agroforestry. Reprint for International Council for Research in Agroforestry
- SEZER E.N.S. – UYSAL T. (2018): Volatile and Phenolic Compositions of the Leaves of Two Vinca L. Species from Turkey. *Current Perspectives on Medicinal and Aromatic Plants* 2: 103-110.
- SINGLETON V.L. – ROSSI J.A. (1965): Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3):144-158.
- VISINÉ RAJCZI E. – BENKE D. – HOFMANN T. (2024): Talajtakarás és árnyékolás hatása lágyszárúak antioxidáns kapacitására egy agrárerdészeti rendszerben. *Georgikon for Agriculture* 28: 185-190.
- VITYI A. – KISS-SZIGETI N. – KOVÁCS K. (2018): Az agrárerdészet magyarországi helyzete. Kutatások a 210 éves Erdőmérnöki Karon. Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet, Sopron.

A BÜKK (*FAGUS SYLVATICA* L.) ÁLGESZT SZÍNANYAG MOLEKULÁRIS SZERKEZETÉNEK ÉS KÉPZŐDÉSÉNEK KOMPLEX VIZSGÁLATA

Complex study of the molecular structure and formation of red heartwood chromophores of beech (*Fagus sylvatica* L.)

HOFMANN TAMÁS, ALBERT LEVENTE, VISINÉ RAJCZI ESZTER
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet és Természetvédelmi Intézet
hofmann.tamas@uni-sopron.hu

Kivonat

Kutatásunkban elsőként vizsgáltuk és írtuk le az álgesztes színanyag összetételét és *in vitro* kísérletekben modelleztük a színanyagok képződési folyamatait nagy-nyomású folyadék-kromatográfiás/tandem tömegspektrometriás eljárással. Megállapítottuk, hogy a színanyag nagy molekulatömegű polimer, elsősorban a katechin/epikatechin és taxifolin oxidált, polimerizált és átalakult termékei. A sejtfal szerkezetében kötött állapotban előforduló, ún. nem-extrahálható polifenolokat (ferulasav, dehidrodiferulasav, p-kumársav) elsőként mutattuk ki a szíjács/álgeszt átmeneti zónában: ezek a vegyületek feltehetően csak a sejtfal szerkezetének megerősítésében és az antioxidáns védelemben játszanak szerepet az álgesztképződés során, jelentőségük a színeképződésben elhanyagolható. A színanyagok ismerete elősegíti az álgesztes faanyag színhomogenizálását és az álgesztes faanyag jövőbeli hasznosíthatóságát.

Abstract

In our research, we were the first to examine and describe the composition of red heartwood chromophores and model the formation processes of pigments in *in vitro* experiments using high-pressure liquid chromatography/tandem mass spectrometry. We found that the pigment is a high molecular weight polymer, primarily the oxidized, polymerized, and transformed products of catechin/epicatechin and taxifolin. We were the first to identify the so-called non-extractable polyphenols (ferulic acid, dehydroferulic acid, p-coumaric acid) in the transition zone between the sapwood and heartwood: these compounds presumably play a role only in strengthening the cell wall structure and providing antioxidant protection during heartwood formation, and their significance in color formation is negligible. Knowledge of the chromophores facilitates the color homogenization of beech red heartwood and the future usability of red-heartwooded timber.

Bevezetés

A bükk (*Fagus sylvatica* L.) álgesztesedése értékcsökkentő színhibához vezet. Az álgeszt színanyagának kémiai felépítéséről, szerkezetéről elhelyezkedéséről még mindig töredékesek az ismereteink. A színesedés folyamatainak és a színanyag kémiai szerkezetének megismerése az alapvető faanyagkémiai ismereteken túl elősegítheti az álgesztes faanyag színhomogenizálását és az álgesztes faanyag jövőbeli hasznosíthatóságát is. Kutatásunkban elsőként vizsgáltuk és írtuk le az álgesztes színanyag szerkezetét, részletesen vizsgáltuk az extrahálható (EP) és nem extrahálható polifenolok (NEP) szerepét a színeképződésben és *in vitro* kísérletekben modelleztük a színanyagok képződését nagy-nyomású folyadékkromatográfiás/tandem tömegspektrometriás eljárással (HPLC-PDA-ESI-MS/MS).

Anyag és módszer

Mintagyűjtés, mintaelőkészítés: A vizsgálathoz kettő álgesztes bükk törzsből származó korongot vizsgáltunk, melyeket 2017 decemberében gyűjtöttük a TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. (Sopron) területéről. A törzsek üzemterv szerint kora 100-110 év volt. A két törzsből mellmagasságból egy-egy korongot vágunk ki, melyek átmérője 36 cm volt (álgeszt átmérő 17 és 18 cm). A korongokból mintát (25 g) vettünk a szíjácsból (**b**), és az álgeszt határ két oldalának 0.5 cm vastag szöveti részéből (**f**, **g**) és az álgeszt belsejéből (**h**).

Extrahálható színanyagok vizsgálata: 1,6 g álgeszt (**h**) fareszelék + 30 ml metanol:víz (50:50 v/v%) elegy extrakciója (2 óra, 70 °C-os vízfürdőn). Az extraktumokat szűrőpapíron szűrtük, 10 ml extraktum bepárlása vákuumban 40 °C-on, a bepárlási maradék visszaoldása 0,5 ml metanol:víz (50:50 v/v%) oldószerbe, kromatografálás. A szűrt, extrahált faminták szárítása (4 óra, 70 °C-on) majd tárolása exsikkátorban a további vizsgálatokig.

NEP tartalom meghatározása: a szárított, extraktanyag-mentes famintákat savas és lúgos hidrolízisnek vetettük alá három különböző eljárással. Savas hidrolízis: 1 M HCl és 1 M H₂SO₄. Lúgos hidrolízis: 2 M NaOH. Faminta/reagens arány: 0,25 g extrahált faminta + 10 ml reagens. Reakcióköörülmények: 4 óra, 70 °C-os vízfürdő. Ezután a reakcióelegyeket viszszahűtöttük és közömbösítettük, majd centrifugáltuk (2x10 perc, 13000/min fordulatszám) majd kromatografáltuk (HOFMANN et al. 2025A).

Színanyagok in vitro képződésének vizsgálata: 4 g élőnedves lereszelt szíjács mintát 100 ml pH=6,18 foszfátpufferrel homogenizáltunk 10 percig, majd 24 órás állás után (4 °C-on) centrifugáltuk (15 perc, 6000/min fordulatszám) és a tiszta oldatot használtuk fel az *in vitro* kísérletekhez. A prekursor vegyületekből ((+)-katechin, (-)-epikatechin, taxifolin, kvercetin, ferulasav, *p*-kumársav) 3 mg mennyiségekhez 4,5 ml enzimkivonatot adtunk és az elegyeket lezárva sötétben szobahőmérsékleten tároltuk 30 napig. A reakcióelegyekből az 1. nap, 15. nap, 30. nap mintát vettünk (0,5 ml), lecentrifugáltuk (2x10 perc, 13000 1/min fordulatszám) és kromatografáltuk (HOFMANN et al. 2025B).

HPLC-PDA-ESI-MS/MS mérések: az oldatok összetételét egy Shimadzu LC-20 folyadék-kromatográfval és egy AB Sciex 3200 Qtrap tandem tömegspektrométerrel vizsgáltuk. A mérési módszer részletes ismertetését a Hofmann et al. (2025a,b) források tartalmazzák.

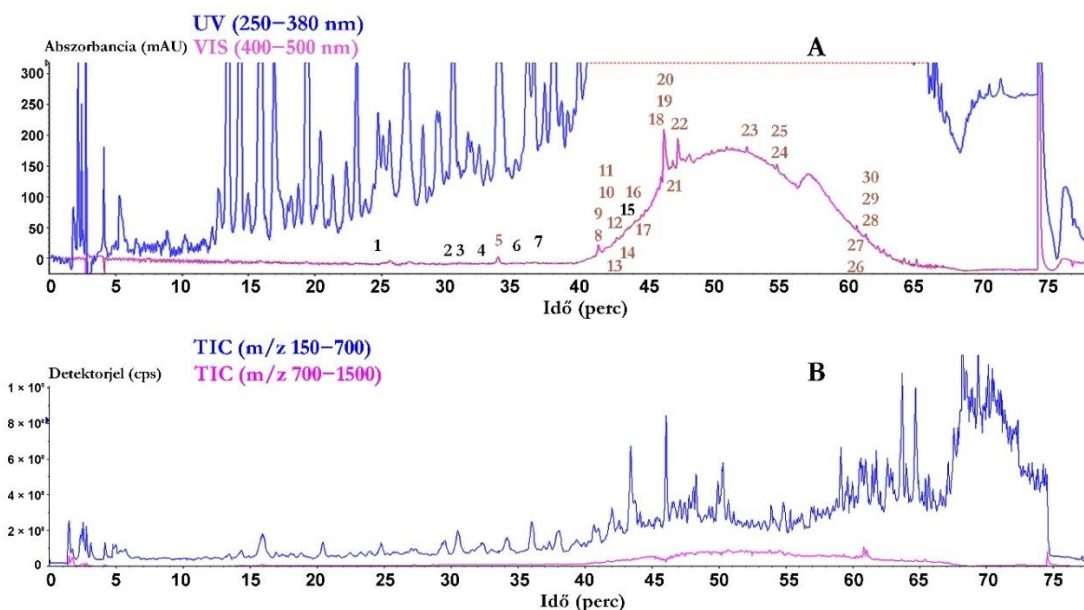
Eredmények

Az álgeszt extrahálható színanyagainak vizsgálata

Mivel az álgeszt színe vörösesbarna, az ehhez tartozó fő abszorpciós hullámhossztartomány a látható fény (VIS) 400 és 500 nm közötti része, így az álgeszt kromofórok szelektív kimutatásához ezt a detektálási hullámhosszt választottuk. Összehasonlítóképpen az UV (250–380 nm) kromatogramot is felvettük, mely az álgeszt kivonatban található összes UV elnyeléssel rendelkező extraktanyagot detektálta, amelyek viszont nem feltétlenül rendelkeznek színnel. A kromatogramokat az 1. ábra mutatja.

Az 1/A ábra alapján az álgeszt kivonat számos, az UV tartományban abszorbeáló extraktanyagot tartalmaz, melyet a nagy számú és intenzív csúcsok igazolnak. A vörös/barna színű vegyületek azonosításához külön vizsgáltuk a látható tartományon (400–500 nm) felvett kromatogramot. A VIS kromatogram az UV kromatogramhoz képest sokkal kevesebb és alacsonyabb csúcsot tartalmaz, mely alapján megállapítható, hogy az elválasztott álgeszt extraktanyagoknak csak kis része rendelkezik kromofór sajátossággal. Az 1/B ábra az össziónkromatogramot (TIC) mutatja, amely lehetővé teszi az elválasztott vegyületek molekulatömeg-tartományának becslését. Megállapítottuk, hogy az álgeszt kivonat nagyon gazdag alacsony molekulatömegű vegyületekben (*m/z* 150–700) és viszonylag szegény magas molekulatömegű molekulákban (*m/z* 700–1500).

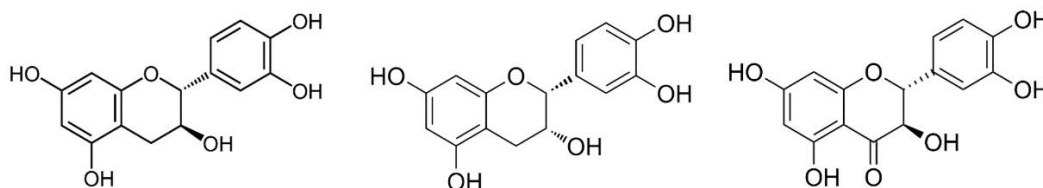
Annak ellenére, hogy a nagy molekulatömegű vegyületek kis mennyiségben vannak jelez az álgeszt kivonatban, ezek a bükk álgeszt extrahálható kromofór vegyületei melyek többsége a kromatográfiás elválasztás során 40 és 65 perc között eluálódik. A VIS kromatogram fontosabb csúcsait és az identifikált vegyületek részletes tömegspektrometriás jellemzését az 1. Táblázat tartalmazza. A kromofórok általában többszörös ionizációt mutattak az ionforrásban, és tömegspektromaik leggyakrabban a katechinek (m/z 289, 271, 245, 203) és/vagy a taxifolin (m/z 285, 241, 217, 175) jellemző fragmenseit tartalmazták, ami bizonyítja, hogy a kromofór vegyületek ezeknek az alpmolekula-egységeknek a származékai. A 2. ábra az alapvegyületek molekulaszervezetét tartalmazza.



1. ábra: Az álgeszt extraktum EP-jainak HPLC-PDA-ESI-MS/MS elválasztása. (A): UV (250–380 nm) és VIS (400–500 nm) kromatogramok; Barna számok: színes (kromofór) vegyületek, fekete számok: nem kromofór vegyületek. A vegyületek számozását és részletes jellemzését az 1. Táblázat tartalmazza. (B): Összion kromatogramok (TIC) az m/z 150–700 és m/z 700–1500 tömegtartományokra.

Mivel a monomerekre jellemző fragmensek jelen vannak a színes vegyületek tömegspektromaiban, feltételezhető, hogy a kromofórok a megfelelő polifenol alapegységek polimerizációja és részleges átalakulása révén keletkeznek. Ha ez nem így lenne, és az alapszerkezet is jelentősen módosult volna, akkor a monomerekre jellemző fragmensek nem jelennek meg a tömegspektromokban; ez ugyanakkor mégsem zárható ki teljesen, mivel a kromofórok és az átalakulási termékek száma és változatossága igen nagy.

Eredményeink alapján az álgeszt kromofórok metanol/víz elegyben oldódó, nagy molekulatömegű (400–2200 Da) vegyületek, amelyek (epi)katechin és taxifolin polimerizált és átalakult (feltehetően oxidált) termékei. A tömegspektrometriás berendezés korlátai miatt a 2200 Da-nál nagyobb molekulatömegű vegyületek nem kerültek kimutatásra, de jelenlétük nem zárható ki.



(+) -katechin

(–) -epikatechin

taxifolin

2. ábra: A kromofórok képződésében részt vevő alapegységek: (+)-katechin, (–)-epikatechin és a taxifolin

1. Táblázat: A bükk álgeszt kivonatában azonosított EP-k kromatográfiás, tömegspektrometriás és szerkezeti adatai. A "Szín" oszlop azt jelzi, hogy az adott vegyületnek van-e abszorpciója a 400–500 nm hullámhossz-tartományban (I) vagy nincs (N).

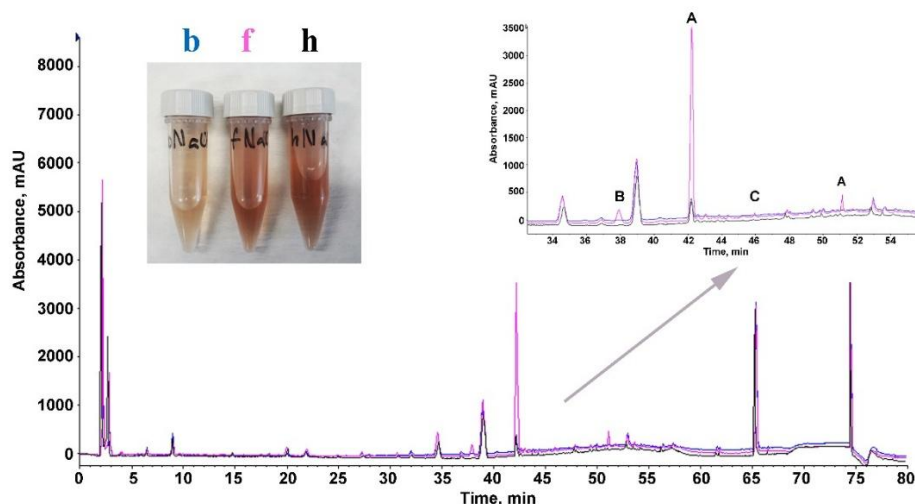
Csúcs	t_r (perc)	Vegyület neve	Szín	[M-H] ⁻ (m/z)	Töltés (n)	(Becsült) molekula- tömeg (Da)	MS/MS
1	24,7	(+) -Katechin	N	289	1	290	289, 271, 245, 203, 179, 125
2	29,6	(Epi)katechin származék	N	485	1	486	437, 361, 331, 289, 271, 245, 203
3	30,8	(Epi)katechin származék	N	485	1	486	437, 361, 331, 289, 271, 245, 203
4	32,5	(–) -Epikatechin	N	289	1	290	289, 271, 245, 203, 179, 125
5	33,8	(Epi)katechin származék	I	798,2	2	1596	691, 643, 289, 245, 203
6	35,3	(Epi)katechin származék	N	485	1	486	437, 361, 331, 289, 271, 245, 203
7	36,9	(Epi)katechin származék	N	485	1	486	437, 361, 331, 289, 271, 245, 203
8	41,35	(Epi)katechin származék	I	713,4	1	714	543, 331, 289, 271, 245, 203
9	41,4	(Epi)katechin + taxifolin szárm.	I	863	1	864	693, 449, 289, 285, 245, 241, 217, 203, 175
10	41,75	(Epi)katechin + taxifolin	I	575	1	576	539, 449, 423, 289, 285, 271, 245, 241, 217, 203
11	41,8	(Epi)katechin származék	I	811,5	2	1623	631, 507, 315, 289, 245, 203
12	42,4	(Epi)katechin + taxifolin	I	575	1	576	539, 449, 423, 289, 285, 271, 245, 241, 217, 203
13	42,5	(Epi)katechin származék	I	753,5	2	1507	601, 449, 301, 289, 271, 245, 203
14	43,25	(Epi)katechin származék	I	771,6	2	1544	441, 331, 303, 289, 271, 245, 203
15	43,4	Taxifolin	N	303	1	304	285, 241, 217, 175
16	43,8	(Epi)katechin + taxifolin	I	575	1	576	539, 449, 423, 289, 285, 271, 245, 241, 217, 203
17	44,2	(Epi)katechin + taxifolin	I	575	1	576	539, 449, 423, 289, 285, 271, 245, 241, 217, 203
18	45,8	Ismeretlen	I	731,6	1	732	419, 389, 373, 359, 311
19	46,1	Ismeretlen	I	709,5	3	2130	489, 471, 455, 441, 243
20	46,3	Ismeretlen	I	703,5	2	1408	519, 419, 315, 169, 183
21	46,7	(Epi)katechin származék	I	455	1	456	455, 301, 289, 271, 245, 203
22	47,35	Ismeretlen	I	731,7	3	2196	577, 314, 285
23	52,5	Ismeretlen	I	711,8	2	1424	545, 504
24	54,8	Ismeretlen	I	878,1	1	878	498, 227, 209, 183
25	54,8	Ismeretlen	I	867,2	1	1734	
26	60,75	Ismeretlen	I	729,8	2	1460	504, 357, 342, 193, 175
27	60,8	Ismeretlen	I	716,5	2	1434	670, 557, 408, 369, 317
28	61,1	Ismeretlen	I	716,5	2	1434	670, 557, 408, 369, 317
29	61,2	Ismeretlen	I	729,8	2	1460	504, 357, 342, 193, 175
30	61,3	Ismeretlen	I	713,8	2	1426	506, 343, 207, 207, 193, 175

Az álgesztes bükk faanyag NEP tartalmának vizsgálata

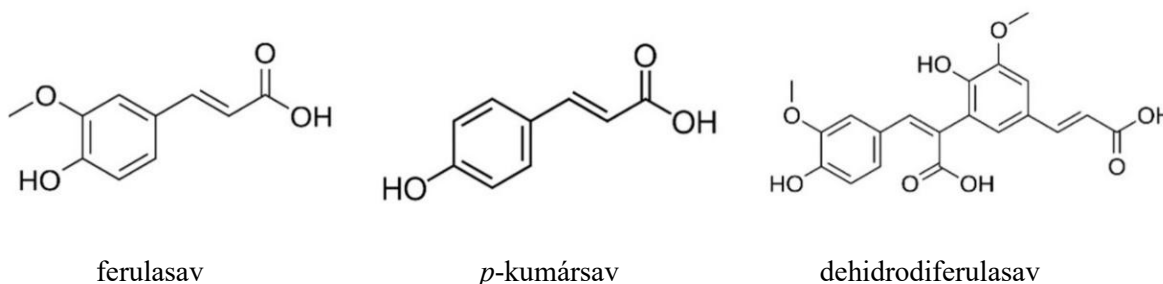
A lúgos (NaOH) hidrolízis a savas hidrolízishez képest hatékonyabban szabadítja fel a kötött polifenolokat, beleértve azokat is, amelyek szorosan kötődnek a sejtfal komponenseihez és általában nagyobb extrakciós hozamot eredményez (GONZALES et al. 2015). A 3. ábra a hidrolizált mintákat és a NaOH-hidrolizátumok kromatogramjait ábrázolja. A hidrolizátumok színe közötti különbségek megfigyelhetők: a **b** minta világosbarna, míg az **f** és **h** minták sötétbarnák. A legjelentősebb változások a ferulasav-izomerek (42,3 perc és 51,2 perc), a *p*-kumársav (37,96 perc) és a dehidrodiferulasav (46,0 perc) csúcsainak növekedésében

voltak megfigyelhetők a szíjács/álgeszt határon. Az azonosított vegyületek szerkezetét a 4. ábra szemlélteti.

A ferulasav és polimerjei jelentős szerepet töltenek be a növényi sejtfaalak polimerjei közötti keresztkötések létrehozásában, ezáltal a sejtfaalak szerkezet megerősítésében: a sejtfaalak merevségének, integritásának és lebontó szervezetekkel szembeni ellenállásának kialakításában. Oxidatív kapcsolódás révén a ferulasav dehidrodimereket, trimereket és tetramereket képez, amelyek az arabinoxilán láncokat egymással és más sejtfaalakkomponensekkel keresztkötik (BENTO-SILVA et al. 2018).



3. ábra: A bükkfa szövetek (b: szíjács (kék); f: szíjács/álgeszt határ (magenta); h: álgeszt belseje (fekete)) lúgos (NaOH) hidrolízisével nyert hidrolizátumok kromatográfiás elválasztása (UV 250–380 nm kromatogram) és a reakcióelegyek (belső kép, balra). Belső kép, jobbra: a kromatogram részlete, nagyítva. A: ferulasav izomerek (m/z 193), B: *p*-kumársav (m/z 163) és C: dehidrodiferulasav (m/z 385).



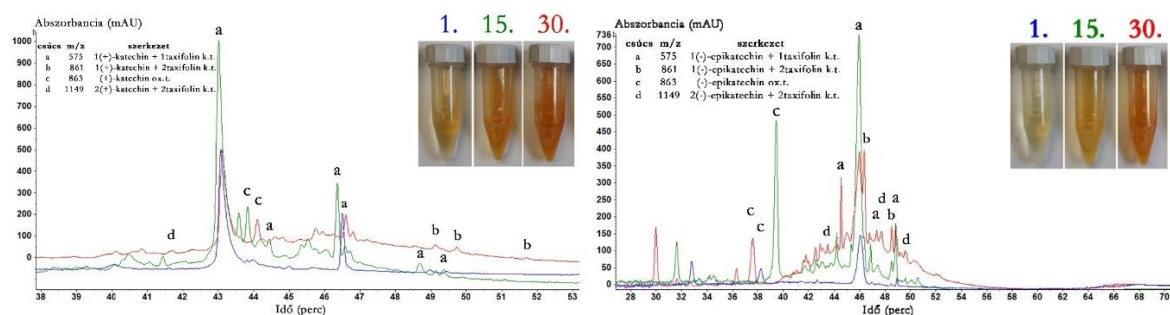
4. ábra: A ferulasav, *p*-kumársav és a dehidrodiferulasav szerkezete

Az eredményeink alapján a ferulasav és dimere, valamint valószínűleg más oligomerek is kötött formában, NEP-ként található meg a bükkfa sejtfaalak szerkezetében. Szerepe elsősorban a sejtfaalak szerkezetének megerősítése, mely ellenállást is biztosít a biotikus és abiotikus stressz ellen. A ferulasavak szerepe a kromofórok kialakulásában azonban a jelen eredményekből nem igazolható és további vizsgálatokat igényel. A ferulasavval ellentétben a *p*-kumársav sokkal kevésbé hajlamos keresztkötések kialakítására a poliszacharidok vagy a poliszacharidok és a lignin között. A *p*-kumársav a növényi sejtfaalak, különösen a fűfélék (CHANDRAKANTH et al. 2023) és egyes fás növények (HELLINGER et al. 2023) ligninjének kulcsfontosságú módosítója. Az eredmények azt bizonyítják, hogy *p*-kumársav előfordulása az álgeszt határon kötött formában, NEP-ként is jelentős. Feltételezzük, hogy jelenléte

valószínűleg inkább szerkezeti változásokkal hozható kapcsolatba, az álgeszt színanyagainak képződésében betöltött szerepe további vizsgálatokat igényel (HOFMANN et al. 2025A).

Az álgeszt színanyagainak *in vitro* képződése

Kísérleteinek következő szakaszában azt vizsgáltuk, hogy bükk álgeszt leírt és azonosított színanyagai fiziológias körülmények között (az álgesztre jellemző pH értéken, a bükk enzimjei és oxigén jelenlétében) azokból a prekursor vegyületekből keletkeznek-e melyeket az előző fejezetekben azonosítottunk és az egyes vegyületeknek milyen szerepe van az álgeszt színanyag-képződés biokémiai folyamataiban. Ehhez *in vitro* reagáltattuk a prekursor vegyületeket ((+)-katechin, (-)-epikatechin, taxifolin, kvercetin, ferulasav, *p*-kumársav) az álgeszt pH értékén (6,18) bükk szíjács enzim kivonattal, modellezve a színanyagok képződésének dinamikáját, és az egyes vegyületek reakciókészségét, valamint vizsgálva a képződő termékeket. A keletkezett színanyagok szerkezetét (tömegspektrometriás adatok) összevetettük az álgesztből kivont színanyagok szerkezetével. Az *in vitro* kísérletet 30 napig folytattuk, a reakcióelegyek összetételét a 1. a 15. és a 30. napokon vizsgáltuk kromatográfias analízissel.

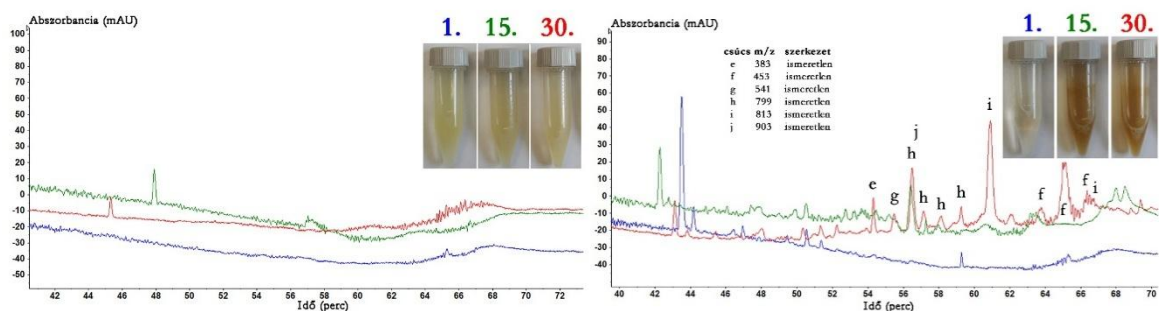


5. ábra: A (+)-katechin (balra) és a (-)-epikatechin (jobbra) *in vitro* reakciója bükk szíjács enzimkivonattal pH=6,18 értéken. A képződött színanyagok kromatográfias elválasztása és detektálása (400-500 nm) a reakcióelegyből az 1. 15. és 30. napokon. k.t.: kondenzációs termék; ox.t.: oxidációs termék

A (+)-katechin és a (-)-epikatechin reakcióelegye már az első nap elszíneződött és a szín az idő előrehaladtával egyre intenzívebbé vált (5. ábra). A végeredmény egy bonyolult összetételű anyagkeverék. Bizonyítottuk, hogy a katechinek a kromofórok keletkezésének fontos szereplői, a kísérlet körülményei között oxidációs és kondenzációs folyamatokban vesznek részt. Az egyik átalakulási terméke a taxifolin, ami szabad formában is megjelenik a reakcióelegyben (csúcs nem látható az 5. ábrán mivel a taxifolin szintelen). A katechinek oxidációs reakcióban bakteriális hatásra is taxifolinná alakulnak (MATSUDA et al. 2008). A keletkezett taxifolin és a katechin izomerek egymással reagálva színes vegyületekké kondenzálódnak. A színanyagok molekulatömegének vizsgálata során megállapítottuk, hogy azok többsége 900 Da-nál kisebb. A legjellemzőbb csúcsok a tömegspektrumok alapján a katechinek és a taxifolin különböző (1:1, 575 m/z; 1:2, 861 m/z) arányú kondenzációs termékei, valamint a katechinek oxidációs termékei. Nagyobb molekulatömegű kondenzátumok (2:2, 1149 m/z) a konszekutív reakciók eredményeként a 30. napon voltak kimutathatók, alacsony koncentrációban. Bizonyosságot nyertek a korábbi feltételezéseink, miszerint a katechinek a bükk enzimjeinek hatására az álgeszt pH-ján *in vitro* nagy molekulatömegű színanyagokká alakul (HOFMANN et al. 2008). Az *in vitro* körülmények között képződött kromofórok közül az 575 m/z és a 863 m/z vegyületeket az álgesztes faanyag kivonatából is kimutattuk (HOFMANN et al. 2025A).

Az eredmények alátámasztják a (+)-katechin és a (-)-epikatechin szerepét az *in vivo* álgesztetésben. Összevetve a két izomer reakciókészségét ezekben a folyamatokban

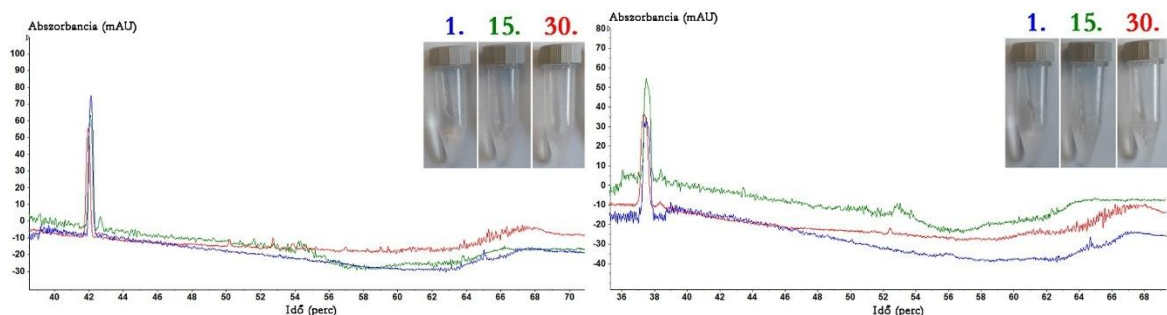
kijelenthető, hogy *in vitro* körülmények között a (-)-epikatechin reakciókészsége nagyobb, mint a (+)-katechiné. Megjegyzendő, hogy a bükk faanyag sokkal nagyobb mennyiségben tartalmazza a (+)-katechint mint a (-)-epikatechint (HOFMANN et al. 2021).



6. ábra: A kvercetin (balra) és a taxifolin (jobbra) *in vitro* reakciója bükk szíjács kivonattal pH=6,18 értéken. A képződött színanyagok kromatográfiás elválasztása és detektálása (400-500 nm) a reakcióelegyből az 1. 15. és 30. napokon.

A kvercetin viszonylag alacsony koncentrációban fordul elő a bükk szíjácsában, csak egy glikozidját mutatták ki (HOFMANN et al. 2008). Az álgeszt csak nyomokban tartalmaz szabad kvercetint. Korábbi *in vitro* kísérleti eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a kvercetin bükkenzimkivonatok hatására nem, vagy csak nagyon kis mértékben reagál, ami arra utal, hogy a kvercetin nem vesz részt a színanyagok képződési reakcióiban.

A taxifolin a bükk faanyagában glikozidjai (pentozid és hexozid) formájában fordul elő (HOFMANN et al. 2021, 2008). Az álgeszt belsejében a glikozidok hidrolízisét követően szabad formában kimutatható. *In vitro* kísérleti eredményeink bizonyítják, hogy az álgesztben a katechinek oxidációja során is keletkezik. A 6. ábra alapján megfigyelhető a taxifolin koncentrációjának időbeli csökkenése és ezzel párhuzamosan a reakciótermékeinek mennyiségi növekedése, ami a reakcióelegy barnulását eredményezi. A taxifolin részt vesz a kromofórképző reakciókban, de a folyamatok lényegesen lassabbak, mint a katechinek átalakulásai, és a képződő színes termékek csúcsai is kisebbek. (v.ö. 5. ábra).



7. ábra: A ferulasav (balra) és a *p*-kumársav (jobbra) *in vitro* reakciója bükk szíjács kivonattal pH=6,18 értéken. A képződött színanyagok kromatográfiás elválasztása és detektálása (400-500 nm) a reakcióelegyből az 1. 15. és 30. napokon.

A 7. ábra szemlélteti, hogy a ferulasavat tartalmazó reakcióelegy színe még a 30. napon sem változott és a kromatogram sem utal színes átalakulási termékek képződésére. Ezt megerősíti azt a feltételezést, miszerint a ferulasav nem vesz részt a bükkalgeszt színanyagainak képződésében. Hasonlóképpen látszik, hogy a *p*-kumársavat tartalmazó reakcióelegy színe az időben nem változik, és a kromatogramon kromofór tulajdonságokkal rendelkező vegyületek nem jelennek meg, ami megerősíti, hogy a *p*-kumársav nem vesz részt a színanyagok képződésében. Hasonlóan a ferulasavhoz, elsősorban az álgesztes faanyag

sejtfalszerkezetében akkumulálódik kötött formában és a szerkezet erősítésében, valamint az antioxidáns védekezési mechanizmusokban vesz részt (BENTO-SILVA et al. 2018).

Következtetések

Kutatásunkban megállapítottuk, hogy az álgeszt színanyag keverék, komponensei a szíjács és az álgeszt határán, az átmeneti zónában, előanyagokból (prekurzor) keletkeznek, melynek pontos kémiai felépítése eddig nem volt bizonyított. Nagy-teljesítményű folyadékkromatográfia/tandem tömegspektrometria (HPLC-PDA-ESI-MS/MS) segítségével igazoltuk, hogy az álgeszt kromofórijai víz/metanol oldószerrel kioldható nagy molekulatömegű (400–2200 Da) vegyületek, amelyek (epi)catechin és taxifolin polimerizált, átalakult és oxidált termékei. A sejtfal szerkezetében kötött állapotban előforduló, ún. nem-extrahálható polifenolokat (ferulasav, dehidrodiferulasav, p-kumársav) is elsőként mutattuk ki a szíjács/álgeszt átmeneti zónában. *In vitro* kísérletekben egyenként vizsgáltuk az ismert, fontosabb előanyagok átalakulásait, és a keletkezett reakciótermékek szerkezetét. Bizonyítottuk, hogy a színanyagok az előanyagokból - az eddig csak feltételezett - oxidációs- és kondenzációs reakciókban képződnek. Igazoltuk a (+)-catechin, a (-)-epikatechin és a taxifolin oxidatív kondenzációja nyomán keletkezett nagy molekulájú színes anyagok szerkezetét. A taxifolin reakciókészsége kisebb, mint a (+)-catechiné és a (-)-epikatechiné, a ferulasav, a p-kumársav és a kvercetin nem alakul át színes vegyületté. A ferulasav és a p-kumársav feltehetően csak a sejtfal szerkezetének megerősítésében és az antioxidáns védelemben játszik szerepet az álgesztképződés során, és csak elhanyagolható szerepet játszik a színeképződésben. A színanyagok ismerete elősegíti az álgesztes faanyag színhomogenizálását és az álgesztes faanyag jövőbeli hasznosíthatóságát.

Irodalomjegyzék

- BENTO-SILVA A. – VAZ PATTO M.C. – DO ROSÁRIO BRONZE M. (2018): Relevance, Structure and Analysis of Ferulic Acid in Maize Cell Walls. *Food Chemistry* 246: 360–378.
- CHANDRAKANTH N.N. – ZHANG C. – FREEMAN J. – DE SOUZA W.R. – BARTLEY L.E. – MITCHELL R.A.C. (2023): Modification of Plant Cell Walls with Hydroxycinnamic Acids by BAHD Acyltransferases. *Front. Plant Sci.*: 13: 1088879.
- GONZALES G.B. – RAES K. – VANHOUTTE H. – COELUS S. – SMAGGHE G. – VAN CAMP (2015): Liquid Chromatography–Mass Spectrometry Coupled with Multivariate Analysis for the Characterization and Discrimination of Extractable and Nonextractable Polyphenols and Glucosinolates from Red Cabbage and Brussels Sprout Waste Streams. *Journal of Chromatography A* 1402: 60–70.
- HELLINGER J. – KIM H. – RALPH J. – KARLEN S.D. (2023): P-Coumaroylation of Lignin Occurs Outside of Commelinid Monocots in the Eudicot Genus *Morus* (Mulberry). *Plant Physiol.* 191: 854–861.
- HOFMANN T. – ALBERT L. – RÉTFALVI T. – VISI-RAJCSI E. – BROLLY G. (2008): TLC Analysis of the In-Vitro Reaction of Beech (*Fagus Sylvatica* L.) Wood Enzyme Extract with Catechins. *JPC - Journal of Planar Chromatography - Modern TLC* 21: 83–88.
- HOFMANN T. – GURAN R. – ZITKA O. – VISI-RAJCSI E. – ALBERT L. (2021): Liquid Chromatographic/Mass Spectrometric Study on the Role of Beech (*Fagus Sylvatica* L.) Wood Polyphenols in Red Heartwood Formation. *Forests* 13: 10.
- HOFMANN T. – VISI-RAJCSI E. – ALBERT L. (2025A): Role of extractable and non-extractable polyphenols in the formation of beech (*Fagus sylvatica* L.) red heartwood chromophores. *Forests* 16: 1557.
- HOFMANN T. – VISI-RAJCSI E. – ALBERT L. (2025B): A bükk (*Fagus sylvatica* L.) álgeszt színanyag képződési és szerkezetvizsgálata. *Erdészettudományi Közlemények* 15(1):xxx-xxx (közlésre elfogadva)
- MATSUDA M. – OTSUKA Y. – JIN S. – WASAKI J. – WATANABE J. – WATANABE T. – OSAKI M. (2008): Biotransformation of (+)-catechin into taxifolin by a two-step oxidation: primary stage

of (+)-catechin metabolism by a novel (+)-catechin-degrading bacteria, *Burkholderia* sp. KTC-1, isolated from tropical peat. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 366(2):414-419.

A KOCSÁNYOS TÖLGY (*QUERCUS ROBUR* L.) ÉS A VÖRÖSTÖLGY (*QUERCUS RUBRA* L.) LEVÉL POLIFENOL KÉSZLETÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

Comparative study of the polyphenolic composition of leaves from pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and red oak (*Quercus rubra* L.)

HOFMANN TAMÁS

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet és Természetvédelmi Intézet
hofmann.tamas@uni-sopron.hu

Kivonat

Az amerikai vöröstölgyek lényegesen ellenállóbbak a tölgy-csipkésposkával (*Corythucha arcuata* (Say, 1832)) szemben, mint az európai tölgyfajok. Ennek egyik lehetséges magyarázata a levelek eltérő kémiai összetétele. Vizsgálatunkban a két tölgyfaj levél polifenol-összetételét hasonlítottuk össze nagy-hatékonyságú folyadékkromatográfia/fotodiódasoros detektálás segítségével, összesen 11 vegyület mennyiségét határoztuk meg. Megállapítottuk, hogy két faj polifenol készlete lényeges eltéréseket mutat. A vöröstölgy levelek szignifikánsan nagyobb koncentrációban tartalmaznak rutint (kvercetin-3-*O*-rutinozid), klorogénsavat és (-)-epikatechint. A több vizsgált vegyületnél nem találtunk jelentős eltéréseket a két faj között. A szakirodalmi adatok megerősítik a kvercetin glikozidjainak szerepét erdei fák kártevők elleni védekezésben. A klorogénsav és a (-)-epikatechin feltehetőleg általánosabb, támogató szerepet játszik a polifenolos védekezésben. A megfelelően azonosított metabolikus alapú fenotípusos biomarkerek mérésével lehetőség nyílik a tölgyesek jövőbeli rovarfertőzésekre való érzékenységének tanulmányozására.

Abstract

American red oaks are significantly more resistant to the oak lace bug (*Corythucha arcuata* (Say, 1832)) than European oak species. One possible explanation for this is the different chemical composition of the leaves. In our study, we compared the polyphenol composition of the leaves of the two oak species using high-performance liquid chromatography/photodiode array detection, determining the amount of a total of 11 compounds. We found that the polyphenol content of the two species differs significantly. Red oak leaves contain significantly higher concentrations of rutin (quercetin-3-*O*-rutinoside), chlorogenic acid and (-)-epicatechin. We found no significant differences between the two species for most of the compounds examined. The literature confirms the role of quercetin glycosides in the defense of forest trees against pests. Chlorogenic acid and (-)-epicatechin probably plays a more general, supportive role in polyphenolic defense. By measuring appropriately identified metabolic-based phenotypic biomarkers, it is possible to study the susceptibility of oak forests to future insect infestations, assess and compare the resistance of individual species/origins, and identify resistant oak phenotypes even at an early stage of seedling cultivation.

Bevezetés

Az amerikai vöröstölgyek lényegesen ellenállóbbak a tölgy-csipkésposkával (*Corythucha arcuata* (Say, 1832)) szemben, mint az európai tölgyfajok. Mivel a tölgyek az európai erdők faállományának jelentős részét teszik ki, a csipkésposzka elszaporodása súlyos gazdasági és ökológiai károkhoz vezethet a jövőben. A vöröstölgyek jobb ellenállóképességét az eltérő kémiai összetétel (CSÓKA et al. 2019, KAPOOR et al. 2023) és genetikai adottságok (KERSTEN et al. 2013, BERTIC et al. 2021, KAPOOR et al. 2023) is magyarázhatják. Korábbi vizsgálatok megállapították, hogy az infesztáció során a levelekben a klorofill tartalom és a

fotoszintetikus aktivitás csökken (BIBIN et al. 2023), a levelek sárgulásnak indulnak (ZORIĆ et al. 2023) és a szövetek védekezésében résztvevő enzimatis antioxiáns rendszer aktíválódik (kataláz enzim aktivitás csökken, aszkorbinsav peroxidáz aktivitás nő) (NIKOLIĆ et al. 2019). A védekezés kémiai és biokémiai folyamatait (pl. antioxiáns rendszer többi résztvevőinek szerepét) a szakirodalom még nem vizsgálta részletesen eddig.

Jelen munkánkban két tölgyfaj levél polifenol-összetételét hasonítottuk össze nagy-hatékonyágú folyadékkromatográfia/fotodiódasoros detektálás (HPLC-PDA) segítségével és arra kerestük a választ, hogy a két tölgyfaj polifenolos összetételében vannak-e olyan minőségbeli és mennyiségbeli különbségek, melyek indokolhatják a vörös tölgyek jobb ellenállóképességét a csipkésposkával szemben. A polifenolok az élő szövetek nem-enzimatis antioxiáns rendszerének fontos molekulái, számos funkciójuk mellett a fő szerepük a biotikus és abiotikus stressz elleni kémiai védekezésben van, ezért minőségük és mennyiségük összefüggésben áll a szövetek védekezőképességével. Összesen 11 vegyület (gallusszav, (+)-katechin, kávésav, klorogénsav, szringinsav, (-)-epikatechin, p-kumársav, ferulasav, rutin, transz-fahéjsav, kvercetin) azonosítását és mennyiségi meghatározását végeztük el a levélmintákból.

A szakirodalom szerint a rovarfertőzés (pl. gubacsdarazsak) oxidatív stresszt vált ki a tölgyfalevelekben, ami a polifenolos antioxiánsok mennyiségének jelentős növekedéséhez vezet. A fenolkarbonsavak (pl. gallusszav), flavonoidok (pl. katechin, kvercetin) és tanninok koncentrációja a fertőzött levelekben a kontrollokhöz képest többszörösére is növekedhet (PRZYBYLSKA-BALCEREK - STUPER-SZABLEWSKA 2025).

A polifenolok szerepét a tölgy csipkésposka elleni védekezésben még nem vizsgálták részletesen, azonban a rovarok és tölgyek közötti kölcsönhatásokra vonatkozó bizonyítékok feltételezik, a polifenolos antioxiáns rendszer kiemelt szerepét és jelentőségét a tölgy csipkésposka elleni védekezési reakciókban.

Anyag és módszer

Mintavétel: A vöröstölgy levelek a Nyíracsad 18/C és 17/A erdőrészetekből származó érett korú fákról kerültek begyűjtésre, a kocsányos tölgy levelek a Nyíracsad 12/A erdőrészetből származnak. A mintagyűjtés ideje 2025. szeptember volt. A gyűjtött leveleket feldolgozásig fagyasztva tároltuk (-20 °C).

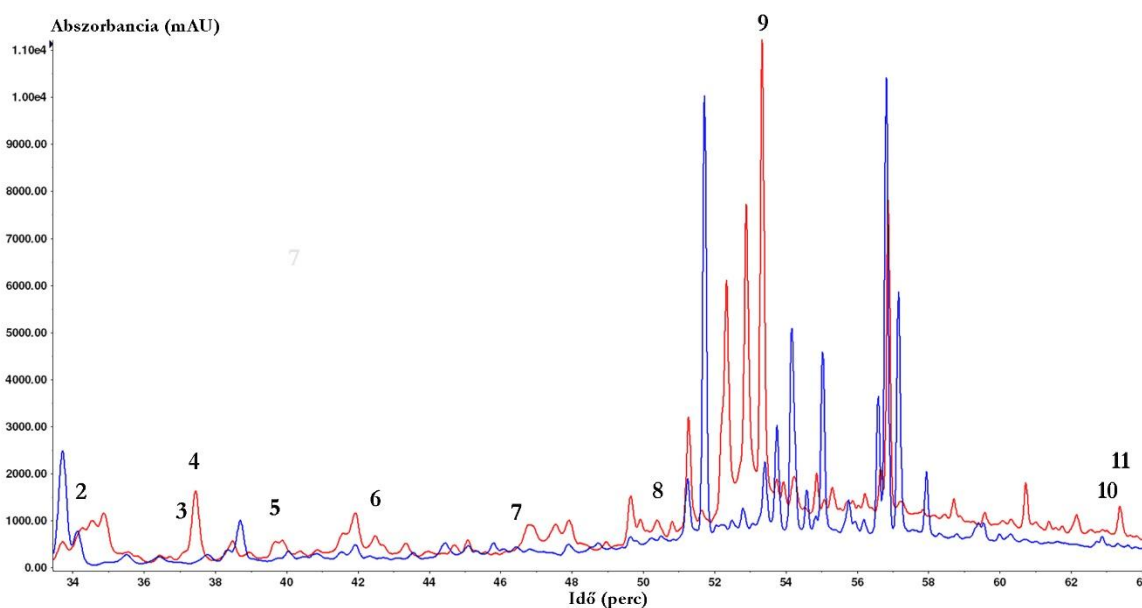
Extrakció: A levélmintákat daráltuk és 0,2 g mennyiséget 20 ml 1:1 metanol:víz eleggyel ultrahangos fürdőn extraháltuk 30 percig. A kivonatot 2x10 percig centrifugáltuk 13.000/min fordulatszámom. A centrifugált kivonatból 2 ml-t nitrogénáramú bepárlóval szárazra pároltuk 50 °C hőmérsékleten, majd a száraz extraktanyagot 0,3 ml 1:1 metanol:víz elegybe oldottuk vissza és az oldatot kromatografáltuk.

HPLC-PDA: A polifenolok elválasztását és mennyiségi meghatározását nagy-nyomású folyadékkromatográfiával és UV detektálással végeztük el. Az elválasztáshoz egy Shimadzu LC-20 folyadékkromatográfot és egy Shimadzu SPD-M20A fotodiódasoros detektort használtunk (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japán). Állófázis: Phenomenex, Synergy Fusion C18, 2,6 µm, 150 mm x 4,6 mm oszlop + Phenomenex SecurityGuard ULTRA LC előtétoszlop. Kolonna hőmérséklet: 40 °C. Mintabevitel: 12 µl. Mozgófázis: A (víz + 0,1 % hangyasav) és B (acetonitril + 0,1 % hangyasav) gradiens (3 % B (0-4 min), 5 % B (22 min), 15 % B (45 min), 57 % B (83 min), 100 % B (90-98 min), 3% B (99-106 min) 1,2 ml/min áramlási sebességgel. Detektálás: 200-800 nm hullámhossztartományon. Mennyiségi kiértékelés: 250-380 nm mindegyik vegyületre.

Eredmények

Meghatározásunk során a szakirodalomban leírt és azonosított (KONOVALOVA ET AL. 2023) legfontosabb polifenolos vegyületeket (gallusszav, (+)-katechin, kávésav, klorogénsav, sztringinsav, (-)-epikatechin, p-kumársav, ferulasav, rutin, transz-fahéjsav, kvercetin) mennyiségi vizsgálatát végeztük csak el, mely vegyületek azonban csak egy töredékét képezik a két faj polifenol készletének. A kocsányos tölgy levelek polifenolos összetételéről a szakirodalomban részletesen beszámol (HOFMANN ET AL. 2021), a vöröstölgy esetében csak a főbb összetevők ismertek.

A polifenolok elválasztását és azonosítását az 1. ábrán látható kromatogram szemlélteti, a vegyületek mennyiségi meghatározását és a statisztikai kiértékelést az 1. Táblázat tartalmazza.

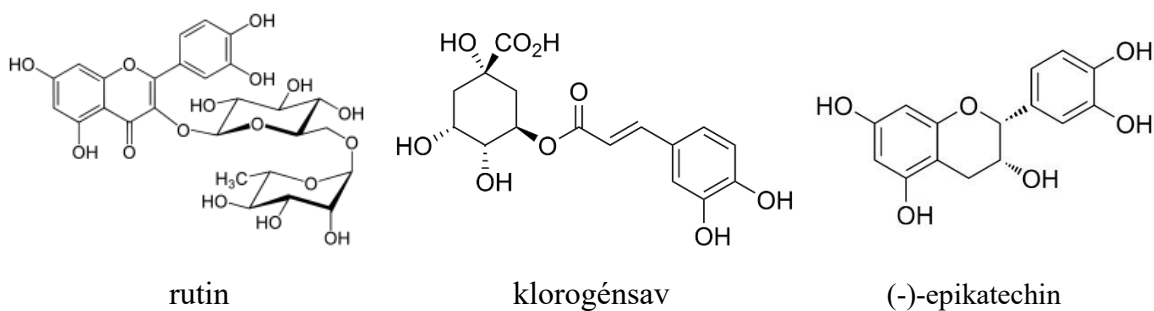


1. ábra: Tölgy levél polifenolok HPLC-PDA elválasztása (250-380 nm kromatogram). Vörös: vöröstölgy; kék: kocsányos tölgy. A vegyületek számozása az 1. Táblázatban található.

Korábbi eredményeink alapján a tölgyfajok összes polifenol tartalma hasonló értéket mutat (HOFMANN et al. 2021) és a (59,2-65,2 mg kvercetin/g száraz anyag) tartományban változik, azonban az 1. ábra alapján a polifenolos összetétel és az egyes vegyületek mennyisége között jelentős eltérések lehetnek. Megállapítható, hogy a kocsányos tölgy és a vöröstölgy polifenol készlete lényeges eltéréseket mutat: a vöröstölgy levelek szignifikánsan nagyobb koncentrációban tartalmaznak rutint (kvercetin-3-O-rutinozid) klorogénsavat és (-)-epikatechint. A kocsányos tölgyre kapott eredmények összhangban vannak a korábbi mérési eredményeinkkel (HOFMANN et al. 2021): klorogénsav és rutin csak nyomokban található a főbb magyarországi tölgyfajok (kocsánytalan tölgy, csertölgy, molyhos tölgy) leveleiben.

A több vizsgált vegyületnél nem találtunk statisztikailag kimutatható eltéréseket a két faj között. A szakirodalmi adatok megerősítik a kvercetin glikozidjainak szerepét a tölgy rovarkártevők elleni védekezésben (BERTIC et al. 2021). Eredményeink alapján feltételezhető, hogy a rutin kiemelt szerepet tölt be a csipkésposzka elleni hatékony védekezésben és a hazai tölgyek levelében található alacsony rutin tartalom lehet az egyik magyarázata az alacsony ellenállóképességnek.

A rutin, klorogénsav és a (-)-epikatechin szerkezetét a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: A rutin, klorogénsav és a (-)-epikatechin szerkezete

A szakirodalmak alapján a klorogénsav (KUNDU et al. 2019, LIAO et al. 2020, ZHONG et al. 2025) és az (-)-epikatechin (YAMAJI - ICHIHARA 2012, ULLAH et al. 2017, LI et al. 2021) szintén fontos szerepet töltenek be a levelek polifenolos védekezésében rovarkártevők és gombák ellen. Tölgy levelek esetében szerepük nem kutatott és további vizsgálatokat igényelne.

További vizsgálatokat igényelne a vöröstölgy levélben nagy koncentrációban megtalálható, de a jelen kutatásban nem azonosított vegyületek identifikációja (ld. 1. ábra $t_r=52,4$ perc, és 53,1 perc csúcsok) mivel ezek is lényegesen nagyobb mennyiségben vannak jelen a vöröstölgy levelekben, így – a rutinhoz, klorogénsavhoz és (-)-epikatechinhez hasonlóan – fontos szerepük lehet a védekezési reakciókban.

1. Táblázat: a vöröstölgy és kocsányos tölgy levelek polifenol tartalmainak mennyiségi kiértékelése. n.sz.: nem szignifikáns

csúcs	Vegyület	t_r (min)	Vöröstölgy (mg/100g)	Kocsányos tölgy (mg/100 g)	Eltérés
1	galluszsav	8,2	1,80 ± 0,49	2,27 ± 0,85	n.sz.
2	(+)-katechin	34,2	29,25 ± 0,85	58,73 ± 29,80	n.sz.
3	kávésav	36,9	0,050 ± 0,06	0,14 ± 0,14	n.sz.
4	klorogénsav	37,5	11,46 ± 5,63	1,58 ± 0,21	szignifikáns ($p < 0,14$)
5	sziringinsav	39,8	2,29 ± 2,36	0,92 ± 0,08	n.sz.
6	(-)-epikatechin	42,4	19,65 ± 2,76	8,21 ± 3,89	szignifikáns ($p < 0,08$)
7	<i>p</i> -kumársav	46,4	0,12 ± 0,01	0,27 ± 0,25	n.sz.
8	ferulasav	51,2	5,88 ± 3,05	3,29 ± 2,12	n.sz.
9	rutin	53,3	66,00 ± 28,43	16,80 ± 2,33	szignifikáns ($p < 0,14$)
10	transz-fahéjsav	63,0	0,20 ± 0,03	0,36 ± 0,18	n.sz.
11	kvercetin	63,4	2,33 ± 2,39	0,86 ± 0,27	n.sz.

Következtetések

Megállapítottuk, hogy a vizsgált vöröstölgy levelekben szignifikánsan magasabb a klorogénsav, rutin és (-)-epikatechin tartalom, mint a kocsányos tölgy levelekben. Feltételezhetőleg ezen vegyületek magasabb koncentrációja összefüggésben van a vöröstölgyek jobb tölgy

csipkésposloska elleni védekezőképességével a hazai tölgyekhez képest. További vizsgálatainkban elvégezzük a két faj részletes polifenol profilozását és a többi potenciális polifenolos biomarker vegyület azonosítását, valamint vizsgálatainkat megismételjük más tölgyfajok és nagyobb mintaszám alkalmazásával.

A megfelelően azonosított metabolikus alapú fenotípusos biomarkerek mérésével lehetőség nyílik a tölgyesek jövőbeli rovarfertőzésekre való érzékenységének tanulmányozására, az egyes fajok/származások ellenállóképességének felmérésére és összehasonlítására, valamint az ellenállóképes tölgyfenotípusok azonosítására akár a palántanevelés korai szakaszában is.

Irodalomjegyzék

- BERTIC M. – SCHROEDER H. – KERSTEN B. – FLADUNG M. – ORGEL F. – BUEGGER F. – SCHNITZLER J. – GHIRARDO A. (2021): European oak chemical diversity - from ecotypes to herbivore resistance. *New Phytologist* 232: 818-834.
- BIBIN A. – BELOUS O. – PLATONOVA N. (2023): Assessment of the Negative Impact of the Quarantine Pest Oak Lace Bug in the Western Caucasus. *Лесоведение* 6: 655-662.
- CSÓKA G. – HIRKA A. – MUTUN S. – GLAVENDEKIĆ M. – MIKÓ Á. – SZÖCS L. – PAULIN M. – EÖTVÖS C. – GÁSPÁR C. – CSEPELÉNYI M. – SZÉNÁSI Á. – FRANJEVIĆ M. – GNINENKO Y. – DAUTBAŠIĆ M. – MUZEJINOVIĆ O. – ZÚBRIK M. – NETOIU C. – BUZATU A. – BĂLĂCENOIU F. – JURC M. – JURC D. – BERNARDINELLI I. – STREITO J. – AVTZIS D. – HRAŠOVEC B. (2019): Spread and potential host range of the invasive oak lace bug [*Corythucha arcuata* (Say, 1832) – Heteroptera: Tingidae] in Eurasia. *Agricultural and Forest Entomology* 22: 61-74.
- HOFMANN T. – VISI-RAJCSI E. – ALBERT L. (2021): Antioxidant Properties and Polyphenol Screening of the Leaves of Native Hungarian Oak (*Quercus*) Species. *Current Bioactive Compounds* 18: e010921191387.
- KAPOOR B. – JENKINS J. – SCHMUTZ J. – ZHEBENTYAYEVA T. – KUELHEIM C. – COGGESHALL M. – HEIM C. – LASKY J. – LEITES L. – ISLAM-FARIDI N. – ROMERO-SEVERSON J. – DELEO V. – LUCAS S. – LAZIC D. – GAILING O. – CARLSON J. – STATON M. (2023): A haplotype-resolved chromosome-scale genome for *Quercus rubra* L. provides insights into the genetics of adaptive traits for red oak species. *G3: Genes|Genomes|Genetics* 13 (11): jkad209
- KERSTEN B. – GHIRARDO A. – Schnitzler J. – Kanawati B. – Schmitt-Kopplin P. – Fladung M. – Schroeder H. (2013): Integrated transcriptomics and metabolomics decipher differences in the resistance of pedunculate oak to the herbivore *Tortrix viridana* L. *BMC Genomics* 14: 737-737.
- KONOVALOVA O. – OMEKOVETS T. – HURTOVENKO I. – SYDORA N. – KALISTA M. – SHCHERBAKOVA O. (2023): Investigation of the polyphenol composition of red oak (*Quercus rubra* L.) raw materials. *ScienceRise: Pharmaceutical Science* 2(42):75-81.
- KUNDU A. – VADASSERY J. (2019): Chlorogenic acid-mediated chemical defence of plants against insect herbivores. *Plant biology* 21(2): 185-189.
- LI X. – ZHANG J. – LIN S. – XING Y. – ZHANG X. – YE M. – CHANG Y. – GUO H. – SUN X. (2021): (+)-Catechin, epicatechin and epigallocatechin are important inducible defensive compounds against *Ectropis grisea* in tea plants. *Plant, Cell & Environment* 45(2): 496-511.
- LIAO Y. – ZENG L. – RAO S. – GU D. – LIU X. – WANG Y. – ZHU H. – HOU X. – YANG Z. (2020): Induced biosynthesis of chlorogenic acid in sweetpotato leaves confers the resistance against sweetpotato weevil attack. *Journal of Advanced Research* 24: 513-522.
- NIKOLIĆ N. – PILIPOVIĆ A. – DREKIĆ M. – KOJIĆ D. – POLJAKOVIĆ-PAJNIK L. – ORLOVIĆ S. – ARSENOV D. (2019): Physiological responses of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) to *Corythucha arcuata* (Say, 1832) attack. *Archives of Biological Sciences* 71(1): 167-176.
- PRZYBYLSKA-BALCEREK A. – STUPER-SZABLEWSKA K. (2025): The Influence of Cynips quercus-folii on the Content of Biofunctional Plant Metabolites in Various Morphological Parts of *Quercus robur*. *Molecules* 30(13): 2687.
- ULLAH C. – UNSICKER S. – FELLEBERG C. – CONSTABEL C. – SCHMIDT A. – GERSHENZON J. – HAMMERBACHER A. – HAMMERBACHER A. (2017): Flavan-3-ols Are an Effective Chemical Defense against Rust Infection. *Plant Physiology* 175(4): 1560-1578.

- YAMAJI K. – ICHIHARA Y. (2012): The role of catechin and epicatechin in chemical defense against damping-off fungi of current-year *Fagus crenata* seedlings in natural forest. *Forest Pathology* 42: 1-7.
- ZHONG J. – RAN Q. – HAN Y. – GAN L. – DONG C. (2025). Biosynthetic Mechanisms of Plant Chlorogenic Acid from a Microbiological Perspective. *Microorganisms* 13(5): 1114
- ZORIĆ N. – FRANJEVIĆ M. – MATOŠEVIĆ D. (2023). Further Spread of *Corythucha arcuata* (Hemiptera; Tingidae) in Croatia. *South-East European Forestry* 14(1): 111-115.

A TALAJTAKARÁS HATÁSA A KIS TÉLIZÖLD (*VINCA MINOR* L.) ANTIOXIDÁNS ÉS ALKALOID TARTALMÁRA

The effect of the soil cover on the antioxidant and alkaloid content of lesser periwinkle (*Vinca minor* L.) plant

HOFMANN TAMÁS, SZABÓ BENCE SÁNDOR, VISINÉ RAJCZI ESZTER
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet és Természetvédelmi Intézet
hofmann.tamas@uni-sopron.hu

Kivonat

Kutatásunkban agrárerdészeti rendszerben termesztett kis télizöld (*Vinca minor* L.) antioxidáns kapacitását (FRAP, TPC) és alkaloid (vinkamin) tartalmát vizsgáltuk a vegetációs időszak különböző időpontjaiban. A kés télizöld legfontosabb jótékony fitoaktív vegyületei az antioxidánsok (elsősorban polifenolok) és az alkaloidok. Megállapítottuk, hogy a legmagasabb antioxidáns tartalmak az őszi, azon belül geotextillel takart mintákban mérhetők. A legnagyobb vinkamin tartalmakat tavasszal mértük. A mulcsolás és méhlegelős termesztés kedvezően befolyásolja a vinkamin (és feltételezhetőleg az összes alkaloid) tartalmát a kontroll mintához képest, mintegy 30-40%-os vinkamin tartalom növekedést eredményezett. A növény alkaloidjai fontos és értékes gyógyszeripari alapanyagok, melyek jelentős gazdasági potenciált képviselnek és eredményeink alapján mennyiségük a megfelelő agroerdészeti termesztési eljárással jelentősen növelhető.

Abstract

We examined the antioxidant capacity (FRAP, TPC) and alkaloid (vincamine) content of lesser periwinkle (*Vinca minor* L.) grown in an agroforestry system at different times during the growing season. The most important beneficial phytoactive compounds of lesser periwinkle are antioxidants (primarily polyphenols) and alkaloids. Highest antioxidant contents were measured in autumn, specifically in samples covered with geotextile. The highest vincamine content was measured in the spring samples. Mulching and bee pasture cultivation have a positive effect on the vincamine (and presumably all alkaloid) content compared to the control sample, resulting in an increase of approximately 30-40% in vincamine content. The alkaloids of the plant are important and valuable pharmaceutical raw materials with significant economic potential. Based on the present results, their quantity can be significantly increased with the appropriate agroforestry cultivation method.

Bevezetés

A hatékony termelés és a környezetvédelem egyidejű szükségessége lehetőséget teremt az agrárerdészet térnyerésére. Az agrárerdészetről azt is megállapították, hogy kedvező ökoszisztéma-szolgáltatásokat nyújt, mint például a tápanyag-visszatartást, az erózióvédelmet, a szén-dioxid-megkötést, méhlegelőt, a kártevők elleni védelmet vagy a tűzveszély csökkentését. Lehetőség nyílik a szélsőséges termőhelyek hatékonyabb kihasználására, illetve a korlátozottan hozzáférhető, nehezebben művelhető területeken, és a kisgazdálkodók számára nagyobb produktivitású és környezetbarát, a klíma szélsőségeinek jobban ellenálló termésre (FAHAD et al. 2022).

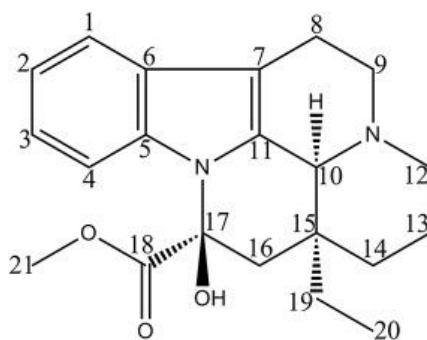
A kis télizöld az *Apocynaceae* családba tartozó, évelő, kúszó szárú félcserje (chamefiton), indaszerű szára legyökerezik. Csíráképes magot csak nagyon ritkán érlel, vegetatív szaporodása számottevő. A kis télizöld neuroprotektív, rákellenes, antimikrobiális, antioxidáns és sebgyógyító tulajdonságai miatt értékes: Hasznosítja a gyógyszeripar, a kozmetika és a

hagyományos orvoslás. Dísnövényként is jelentős szerepet tölt be. A folyamatos kutatások tovább bővítik terápiás és termékfejlesztéssel kapcsolatos lehetőségeit (CIORIȚĂ et al. 2021, NECULAI et al. 2023). A kis télizöld legfontosabb jótékony fitoaktív hatóanyagai az antioxidánsok (elsősorban polifenolok) és az alkaloidok.

A *polifenolok* a növények másodlagos anyagcseretermékei, aromás gyűrűvel és egy vagy több hidroxilcsoporttal rendelkeznek. Az ebbe a csoportba tartozó, szerkezetileg különböző kb. 8-10 ezer vegyület abban közös, hogy a fenilalaninból kiinduló anyagcsereúton keresztül termelődnek (fenil-propanoid útvonal). Szerepet játszanak az ultraibolya (UV) fény elleni védelemben, a termések, virágok színének kialakításában és a növények kártevők elleni védekezésében is. A fenolos vegyületek közé tartoznak a fenolos savak, flavonoidok, tanninok, stilbének és a lignánok (MAYER 2013). A legtöbb növényi eredetű polifenol erős antioxidáns potenciállal rendelkezik, amelyet különféle vizsgálati eljárásokkal igazoltak (BORS - MICHEL 2002).

Az *alkaloidok* klasszikus meghatározásuk szerint olyan nitrogén tartalmú anyagok, amelyek bázikusak, savakkal sót képeznek, és az emberi szervezetre erős és jellegzetes hatásuk van. Ez részben annak köszönhető, hogy növényekben az alkaloidok elsősorban károsítókkal szembeni védekezésben kapnak szerepet, például rövarölő hatásúak (nikotin). Az alkaloidok multifunkcionális vegyületek a növényekben, amelyek elsősorban kémiai védelmet nyújtanak a növényevők és kórokozók ellen, de segítenek a stresszhez való alkalmazkodásban, a növekedés szabályozásában és az ökológiai interakciókban (pl. allelopátiás hatás) és szerepük van a növények nitrogéntárolásában is. Sokféleségük és hatékonyságuk miatt elengedhetetlenek a növények túléléséhez és ökológiai sikeréhez (BHAMBHANI et al. 2021).

A vinkamin a kis télizöld legfontosabb és legnagyobb mennyiségben megtalálható alkaloid összetevője. A vinkamin a triptofán eredetű alkaloidok családjába tartozik. A triptaminhoz 10 szénatomos monoterpenoid csatlakozik, és indolgyűrűt tartalmaz (HORNOK - BERNÁTH 1978). A vinkamin szerkezete az 1. ábrán látható.



1. ábra: A vinkamin szerkezete

A vinkamint elsősorban a gyógyszeripar hasznosítja, mint idegvédő és értágító szert, illetve a rákkutatásnak, és a gyógyszerfejlesztésnek is fontos vegyülete. Az extrakció, a készítmények és a biotechnológiai gyártás terén elért fejlődés tovább növeli ipari jelentőségét (DHYANI et al. 2022). A vinkamin agyi értágító és nootropikum: széles körben használatos hatóanyag a gyógyszeriparban, az agyi véráramlás javítására, az agyi érrendszeri elégtelenség kezelésére és a kognitív funkciók javítására szolgáló gyógyszerekben. Különböző országokban forgalmazzák vénköteles gyógyszerként (pl. Oxybral SR) és étrend-kiegészítőként a memória és a koncentráció erősítésére. Számos pozitív élettani hatásán túl készítmények alapanyagaként is szolgál mely tovább növeli hasznosíthatóságát és piaci értékét.

A növény környezete jelentősen befolyásolja annak növekedését, élettani folyamatait, és így a beltartalmi anyagok képződését is (NACIF DE ABREU - MAZZAFERA 2005). A

növénytermesztésben különböző talajtakarási módokat alkalmaznak az optimális növekedés és beltartalom elérésére, a szélsőséges hatások mérséklésére. A kutatásban három talajtakarási módszert alkalmaztunk: geotextília, mulcs, méhlegelő. Ezek mindegyike pozitív hatással lehet a talaj faunájára, vízháztartására és tápanyagkörfogására.

Jelen munkánk célja vizsgálni a Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti rendszerében termesztett kis télizöld (*Vinca minor* L.) vegetációs időszak három különböző időpontjában gyűjtött mintáinak FRAP (vas(III)-redukálóképességen alapuló antioxidáns kapacitás) és TPC (összes polifenol tartalom) antioxidáns kapacitását, valamint vinkamin tartalmát különböző talajtakarási módok mellett. Vizsgáltuk, hogy a a beltartalmi értékek szempontjából melyik termesztési mód legelőnyösebb; milyen hatása van az egyes talajtakarási módoknak az antioxidáns és vinkamin tartalomra és hogyan változik a mennyiségük a különböző évszakokban.

Anyag és módszer

Mintavétel: A kutatáshoz a minták a Bajti Nemesítő Telep területéről kerültek begyűjtésre. A területen 17 sorban összesen 170 db 'I-214' fajtájú euroamerikai nyárat (*Populus euramericana* (Dode) Guiner cv. 'I-214') helyeztek el. A sorok között különböző lágyszárú növényfajokat termesztnek, 8 parcellán a kis télizöldet. Az egyes parcellák a sorok közt helyezkednek el, két különálló, véletlenszerűen elhelyezett parcellát készítettek mindhárom talajtakaráshoz. A kontroll terület a fasorokon kívül található, ahol nincs árnyékolás, és nem alkalmaztak talajtakarást sem. A mintavétel 2025. június 18, július 21 és szeptember 29-én történt.

Extrahció: Az egyes parcellákról véletlenszerűen válogatva, 200-250 g leveles hajtást gyűjtöttünk be. Amintákat liofilizáltuk (Wave FD260 liofilizáló, Wave Trockensysteme GmbH, Bécs, Ausztria) majd kávédarálással felaprítottuk, és 0,2 g mennyiségeket 40 ml 50%-os vizes metanollal extraháltuk ultrahangos fürdőben (3x10 percig, 26-30 °C, Elma Transsonic T570, Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Németország). A kivonatokat centrifugáltuk (2x10 perc, 13000/min fordulatszámon).

FRAP meghatározás: A mérés során 50 µl extraktumhoz 1,5 ml FRAP-reagenst adtunk. Az 5 perces reakcióidő után, 593 nm-en mértük a minta fényelnyelését spektrofotométerrel (Shimadzu UV 2600). Minden mintán három párhuzamos mérést végeztünk el. Standard vegyületként aszkorbinsavat használtunk, az eredményeket mg aszkorbinsav egyenérték/g növényi szárazanyag mértékegységben adtuk meg (mg AE/g sz.a.) (BENZIE – STRAIN 1996).

TPC meghatározás: 100 µl extraktumhoz 400 µl 50%-os vizes metanolt, majd 2,5 ml Folin-Ciocalteu reagenst adtunk. Körülbelül 1 perc elteltével 2,0 ml 0,7 M Na₂CO₃-oldatot pipetáztunk a mintákhoz. Ezután az oldatokat 50°C-os vízfürdőbe helyeztük 5 percre, majd visszahűtés után a kék színű reakcióoldat 760 nm hullámhosszúságú fényelnyelését mértük. Minden mintán három párhuzamos mérést végeztünk. Standard vegyületként galluszsavat használtunk, az eredményeket mg galluszsav egyenérték/g száraz növény mértékegységben adtuk meg (mg GE/g sz.a.) (SINGLETON – ROSSI 1965).

Vinkamin tartalom meghatározás: A vinkamin tartalmat nagy-nyomású folyadékkromatográfiával és UV detektálással mértük. Az elválasztáshoz egy Shimadzu LC-20 folyadékkromatográfot és egy Shimadzu SPD-M20A fotodiódásoros detektort használtunk (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japán). Állófázis: Phenomenex, Synergy Fusion C18, 2,6 µm, 150 mm x 4,6 mm oszlop + Phenomenex SecurityGuard ULTRA LC előtétoszlop. Kolonna hőmérséklet: 40 °C. Mintabevitel: 40 µl. Mozgófazis: A (víz + 0,05 M ammónium acetát) és B (acetonitril) gradiens (60% B (0-15 min), 100% B (15-20 min), 60% B (20-25 min) 1,2

ml/min áramlási sebességgel. Detektálás: 200-800 nm hullámhossztartományon. Mennyiségi kiértékelés: 225-230 nm.

Kiértékelés: Az eredmények összehasonlításához a Statistica 8 szoftvert (StatSoft Inc., Tulsa, USA) használtuk. A számolási módszer Tukey HSD, $p < 0,05$, a varianciák homogenitását Bartlett-próbával ellenőriztük.

Eredmények

Antioxidáns kapacitás

A FRAP és TPC antioxidáns kapacitás értékeket az 1. Táblázat tartalmazza. Megállapítottuk, hogy a legmagasabb antioxidáns tartalmak az őszi, azon belül geotextillel takart mintákban mérhetők. A nyári mintában a kontroll értékei a legmagasabbak. A tavaszi minták között nincs szignifikáns különbség a TPC módszer alapján, a FRAP eljárás is csak mulcsolt minta esetében mutatott ki enyhe szignifikáns csökkenést a kontrollhoz képest.

1. Táblázat: A vizsgált kis télizöld minták TPC (mg GE/g szá.) és FRAP (mg AE/g szá.) antioxidáns kapacitás értékei (átlag \pm szórás) különböző mintavételi időpontokban, különböző talajtakarások esetében. ko: kontroll, geo: geoszövet, méh: méhlegelő. Adott módszer-nél az eltérő betűkombinációk szignifikáns különbséget jeleznek $p < 0,05$ szinten.

Minta	TPC			FRAP		
	tavaszi	nyár	ősz	tavaszi	nyár	ősz
kontroll	22,3 \pm 0,7 ^c	25,8 \pm 0,7 ^d	30,8 \pm 0,9 ^e	10,8 \pm 0,2 ^e	10,9 \pm 0,3 ^e	19,5 \pm 0,6 ^g
geotextil	21,6 \pm 0,8 ^{cb}	20,9 \pm 1,1 ^{cb}	33,4 \pm 1,0 ^f	9,8 \pm 0,4 ^{cd}	8,4 \pm 0,3 ^{bcd}	22,2 \pm 1,2 ^h
mulcs	20,1 \pm 0,3 ^{cba}	19,4 \pm 0,5 ^{ba}	26,5 \pm 0,7 ^d	8,0 \pm 0,2 ^{abc}	7,9 \pm 0,1 ^{ab}	16,2 \pm 0,6 ^f
méhlegelő	22,3 \pm 1,2 ^c	17,8 \pm 0,1 ^a	27,7 \pm 1,2 ^d	9,4 \pm 0,2 ^{ecd}	6,8 \pm 0,2 ^a	16,1 \pm 0,6 ^f

Az eredmények alapján az antioxidáns kapacitás az őszi mintákban a legmagasabb. A mérési eredmények összhangban van a korábbi évekre (2023) kapott eredményeinkkel, ahol szintén az őszi mintákban volt a legmagasabb az antioxidáns kapacitás (VISINÉ RAJCSI et al. 2024).

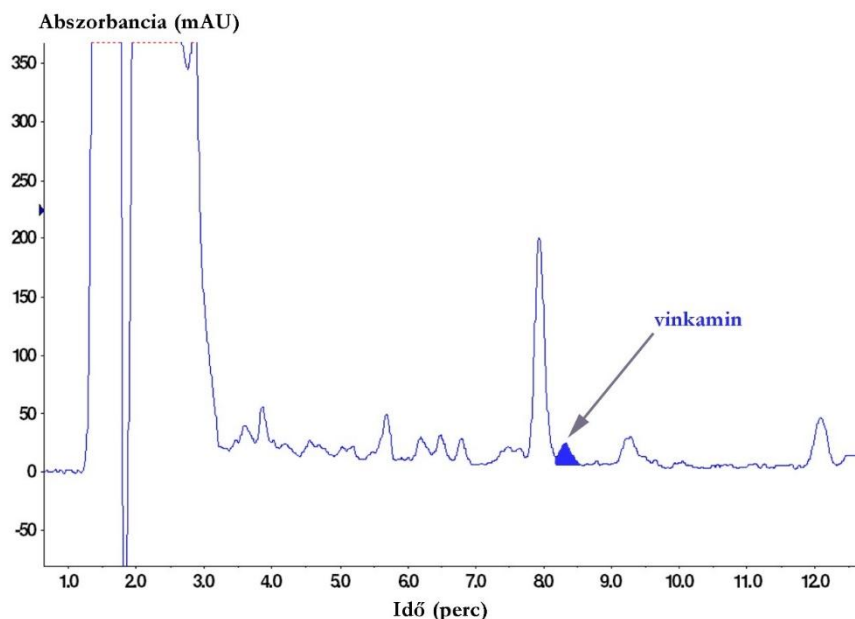
Alkaloid (vinkamin) tartalom

A vizsgálatunkban a kis télizöld legfontosabb (legnagyobb mennyiségben) jelen lévő alkaloid összetevőjét, a vinkamint vizsgáltuk. A folyadékromatográfiás elválasztás során kapott egyik kromatogramot az 2. ábra szemlélteti. A vinkamin kromatográfiás csúcsának identifikációja a növényi kivonatok kromatogramjában a vinkamin standarddal való retenciósidő és UV spektrum egyezés, valamint a növényi kivonat standard addíciójával (spiking) történt.

A minták vinkamin tartalmait a 2. Táblázat összegzi. A legmagasabb vinkamin tartalmakat a tavaszi mintákban mértük, ezek közül is a mulcs és méhlegelő talajtakarások mellett. A nyári és őszi mintáknak lényegesen alacsonyabb, egymástól szignifikánsan nem eltérő vinkamin tartalma volt.

A vinkamin a kis télizöld leveleiben található legfőbb alkaloid, amelynek koncentrációja a földrajzi eredettől és a mintagyűjtés idejétől függően körülbelül 0,6-17,4 mg/100g szá. között mozog (KOEL et al. 2020, NECULAI et al. 2023). A jelen eredmények összhangban vannak a szakirodalmi adatokkal. A 2. Táblázat alapján a mért értékek jelentősen változnak a talajtakarás és a mintagyűjtési időszak függvényében. Az alkaloidok tartalma a levelekben jelentősen magasabb, mint a szárakban és gyökerekben, a többi alkaloid összetevő (pl. 1,2-

dehidrospidospermidin, vinkaminorein) lényegesen alacsonyabb mennyiségben vannak jelen (NECULAI et al. 2023).



2. ábra: A vinkamin folyadékkromatográfiás elválasztása és meghatározása (kromatogram).

A vinkamin tartalom jelentősen változik az évszak és a növény életkora függvényében is: a legmagasabb vinkamin tartalmat általában a virágzási időszakban (tavasszal) mérik, a tartalom a fiatal és az érett levelek között is eltérhet (STANDER et al. 2020, NECULAI et al. 2023).

2. Táblázat: A 2025-ös kis télizöld minták vinkamin tartalma (átlag \pm szórás) mg vinkamin/100 g szárazanyag egységben különböző mintavételi időpontokban, különböző talajtakarások esetében. ko: kontroll, geo: geoszövet, méh: méhlegelő. Az eltérő betűk és betűkombinációk szignifikáns különbséget jeleznek $p < 0,05$ szinten.

Minta	Vinkamin (mg/100 g sz.a.)		
	tavaszi	nyár	ősz
kontroll	4,22 \pm 0,60^b	1,35 \pm 0,46^a	1,35 \pm 0,22^a
geotextil	4,34 \pm 1,15 ^b	1,35 \pm 0,48 ^a	1,87 \pm 0,01 ^a
mulcs	6,55 \pm 0,37 ^c	1,19 \pm 0,29 ^a	1,77 \pm 0,35 ^a
méhlegelő	6,09 \pm 0,30 ^c	2,02 \pm 0,18 ^a	2,55 \pm 0,96 ^a

Az eredményeik alapján a legmagasabb vinkamin tartalom a tavaszi mintavétel során mérhető, és a talajtakarás is szignifikánsan befolyásolja a koncentrációt. A mulcs és a méhlegelő alkalmazásával jelentős (30-40%-os) emelkedés figyelhető meg a kontroll mintához képest. Ennek magyarázata a mulcsolás talajlakó szervezetekre való pozitív hatása, melyek a talaj tápanyagellátottságát javítja, és elősegíti a nitrogéntartalmú extraktanyagok bioszintézisét (GILL et al. 2011, MOTT et al. 2023) valamint a mulcsolás pozitív hatása a talaj vízháztartására. A méhlegelő alkalmazása is a talaj nitrogénellátottságát javítja a pillangósvirágú növények gyökérzetén élő nitrifikáló baktériumokon keresztül (PAUNGFUO-LONHIENNE et al.

2017, CLARK et al. 2021) ezáltal pozitívan hatással lehet a kis télizöld növény alkaloid tartalmára is.

Következtetések

Jelen munkában vizsgáltuk a Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti rendszerében termesztett kis télizöld (*Vinca minor* L.) vegetációs időszak három különböző időpontjában gyűjtött mintáinak antioxidáns kapacitását FRAP és TPC módszerekkel, valamint a vinkamin tartalmát nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával különböző talajtakarási módok mellett. Mindkettő antioxidáns kapacitás meghatározási módszer igazolta, hogy a legmagasabb értékek ősszel mérhetők, ezen belül is a geotextillel takart minták esetében. Az eredmények összhangban vannak a korábbi évek mérési eredményeivel és szezonális tendenciáival. A szakirodalmi adatokkal egyezően tavasszal mértük a legmagasabb alkaloid (vinkamin) tartalmakat. A mérések alapján a mulcsolás és méhlegelős termesztés kedvezően befolyásolja a vinkamin (és feltételezhetőleg az összes alkaloid) tartalmát a kontroll mintához képest, mintegy 30-40%-al magasabb tartalmakat eredményezve, feltehetőleg a talaj jobb víz és tápanyagellátottsága következtében. A növény alkaloidjai fontos és értékes gyógyszeripari alapanyagok, melyek jelentős gazdasági potenciált képviselnek és eredményeink alapján mennyiségük a megfelelő agroerdészeti termesztési eljárással jelentősen növelhető.

A jövőben eredményeinket összevetjük a területre jellemző klímaadatokkal is az egyes évjáratok összehasonítása céljából. Szeretnénk pontosabb képet kapni az időjárás – talajtakarás – beltartalom összefüggéseiről az agrárerdészeti rendszerben. A legelőnyösebb termesztési mód kiválasztásához ezek mellett fontos lesz a terméshozamot is figyelembe venni.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás megvalósítását a következő projektek támogatták: REFOREST - Agroforestry at the forefront of farming sustainability in multifunctional landscapes in Europe, 101060635 (<https://agroforest.eu/>), AGROSUS (Agroecological strategies for sustainable weed management in key European crops), 101084084 (<https://agrosus.eu/>) és 2020-2.1.1-ED-2023-00238 (101084084 Horizon Europe projekthez kapcsolódó kormányzati önerő támogatás).

Irodalomjegyzék

- BENZIE I.F.F. – STRAIN J.J. (1996): The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry* 239(1): 70-76.
- BHAMBHANI S. – KONDHARE K.R. – GIRI A.P. (2021): Diversity in Chemical Structures and Biological Properties of Plant Alkaloids. *Molecules* 26(11): 3374.
- BORS – W. – MICHEL C (2002): Chemistry of the Antioxidant Effect of Polyphenols. *Annals of the New York Academy of Sciences* 957(1): 57-69.
- CIORÎȚĂ A. – ZĂGREAN-TUZA C. – MOȚ A.C. – CARPA R. – PÂRVU M. (2021): The Phytochemical Analysis of *Vinca* L. Species Leaf Extracts Is Correlated with the Antioxidant, Antibacterial, and Antitumor Effects. *Molecules* 26(10): 3040.
- CLARK I.M. – HUGHES D.J. – FU Q. – ABADIE M. – HIRSCH P.R. (2021): Metagenomic approaches reveal differences in genetic diversity and relative abundance of nitrifying bacteria and archaea in contrasting soils. *Scientific Reports* 11(1): 15905.
- DHYANI P. – QUISPE C. – SHARMA E. – BAHUKHANDI A. – SATI P. – ATTRI D.C. – SZOPA A. – SHARIFI-RAD J. – DOCEA A.O. – MARDARE I. – CALINA D. – CHO W.C. (2022): Anticancer potential of alkaloids: a key emphasis to colchicine, vinblastine, vincristine, vindesine, vinorelbine and vincamine. *Cancer Cell International* 22(1): 206.
- FAHAD S. – CHAVAN S.B. – CHICHAGHARE A.R. – UTHAPPA A.R. – KUMAR M. – KAKADE V. – PRADHAN A. – JINGER D. – RAWALE G. – YADAV D.K. – KUMAR V. – FAROOQ T.H. – ALI B. – SAWANT A.V. – SAUD S. – CHEN S. – POZAI P. (2022): Agroforestry Systems for Soil Health Improvement and Maintenance. *Sustainability* 14(22): 14877.

- GILL H.K. – MCSORLEY R. – BRANHAM M. (2011): Effect of Organic Mulches on Soil Surface Insects and Other Arthropods. *Florida Entomologist* 94(2): 226-232.
- HORNOK L. – BERNÁTH J. (1978): *Gyógynövények termesztése és feldolgozása.* (pp. 21-37) Mezőgazdasági Kiadó.
- KOEL M. – KUHTINSKAJA M. – VAHER M. (2020): Extraction of bioactive compounds from *Catharanthus roseus* and *Vinca minor*. *Separation and Purification Technology* 252: 117438.
- MAYER P. (2013): Antioxidánsok szerepe a levelek akklimációjában – rövidtávú alkalmazkodás változó megvilágításhoz. MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont Növénybiológiai Intézet.
- NACIF DE ABREU I. – MAZZAFERA P. (2005): Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy. *Plant Physiology and Biochemistry* 43(3): 241-248.
- MOTT C. – ANTONINKA A. – HOFSTETTER R. (2023): Arthropod Recolonization of Soil Surface Habitat in Post-Fire Mulch Treatments. *Forests* 14(7): 1421.
- NECULAI A.-M. – STANCIU G. – MITITELU M. (2023): Determination of Active Ingredients, Mineral Composition and Antioxidant Properties of Hydroalcoholic Macerates of *Vinca minor* L. Plant from the Dobrogea Area. *Molecules*, 28(15): 5667.
- PAUNGFOO-LONHIENNE C. – WANG W. – YEOH Y.K. – HALPIN N. (2017): Legume crop rotation suppressed nitrifying microbial community in a sugarcane cropping soil. *Scientific Reports* 7(1): 16707.
- SINGLETON V.L. – ROSSI J.A. (1965): Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3):144-158.
- STANDER E.A. – SEPÚLVEDA L.J. – DUGÉ DE BERNONVILLE T. – CARQUEIJEIRO I. – KOUDOUNAS K. – LEMOS CRUZ P. – BESSEAU S. – LANOUE A. – PAPON N. – GIGLIOLI-GUIVARC'H N. – DIRKS R. – O'CONNOR S.E. – ATEHORTÙA L. – OUDIN A. – COURDAVAULT V. (2020): Identifying Genes Involved in Alkaloid Biosynthesis in *Vinca minor* through Transcriptomics and Gene Co-Expression Analysis. *Biomolecules* 10(12): 1595.
- VISINÉ RAJCSI E. – BENKE D. – HOFMANN T. (2024): Talajtakarás és árnyékolás hatása lágyszárúak antioxidáns kapacitására egy agrárerdészeti rendszerben. *Georgikon for Agriculture* 28: 185-190.

SZEMELVÉNYEK A HAZAI ERDÉSZETI GÉPGYÁRTÁS TÖRTÉNETÉBŐL

Excerpts from the History of Domestic Forestry Machinery Manufacturing

HORVÁTH BÉLA

Soproni Egyetem, Erdő- és Természeti Erőforrás-gazdálkodási Intézet
horvath.bela@uni-sopron.hu

Kivonat

Jelenleg a magyar erdészeti gépgyártás történetének megírásával foglalkozom. Ehhez kötődően az elmúlt időszakban széles körű irodalomkutatást végeztem. E munkám kb. háromnegyed része elkészült. Erre alapozva mutatok be az előadásomban néhány jellegzetes példát – meghatározó erdészeti gépgyártókat és géptípusokat – a magyar erdészeti gépgyártás mintegy másfél évszázados történetéből (HORVÁTH, 2026).

Abstract

I am currently working on writing the history of Hungarian forestry machinery manufacturing. In connection with this, I have recently carried out an extensive literature review. Approximately three quarters of this work has already been completed. Based on these results, my presentation will introduce a few characteristic examples – key forestry machinery manufacturers and machine types – from the roughly one-and-a-half-century history of Hungarian forestry machinery manufacturing (HORVÁTH, 2026).

Bevezetés

A magyar erdészeti gépgyártás gyakorlatilag egyidős az erdészeti gépesítéssel, azaz ahogyan elindult az egyes erdészeti műveletek gépesítése a világban, majd megjelentek az erdőhöz, fához kötődő első gépek Magyarországon is a 19. század utolsó évtizedeiben, elindultak az első hazai próbálkozások is a gépek gyártására.

A hazai erdészeti gépgyártás az elmúlt másfél évszázadban váltakozó sikerrel folyt. A kezdetekben a vasöntödékhöz, a vas- és acélgyárakhoz kötődően készültek az erdészeti gépek. Később foglalkoztak az erdészeti gépgyártással maguk az erdőgazdaságok is, működtek önálló erdészeti gépgyárak is, de a meghatározó szinte mindig a mezőgazdasági gépgyártóknál folyó erdészeti gépgyártás volt.

A cikkben időrendben vázolom a magyar erdészeti gépgyártás történetét, szólva:

- a magyar erdészeti gépgyártás kezdeteiről (a 19. század végétől a 20. század közepéig);
- a magyar erdészeti gépgyártásról a 20. sz. közepétől a rendszerváltásig (az 1980-as évek végéig);
- a magyar erdészeti gépgyártásról a rendszerváltástól napjainkig és
- a magyar erdészeti gépgyártás jelenéről, várható jövőjéről.

A magyar erdészeti gépgyártás kezdetei (a 19. század végétől a 20. század közepéig)

A 19. század végén, a 20. század első felében a magyar erdőkben gyakorlatilag csak az emberi- és az igaerőre alapozott termelés folyt, melyet egyszerű erdészeti eszközök (pl. ékásó, fejsze, kézfűrész, lófogathoz kapcsolódó szerkezetek) segítettek, ill. a faanyagmozgatásban szerepe volt a keskeny nyomtávú erdei vasutaknak és a vízi szállításnak. A hazai erdészeti szakirodalomban a 19. század utolsó évtizedeiben közöltek először olyan cikkeket, amelyek a keskeny nyomtávú erdei vasutak gördülő szerkezeteinek hazai gyártásáról szóltak.

A Selmeci Akadémia rendes tanára, *Kövesi Antal* 1907-ben jelentette meg az „Erdészeti géptan” című tankönyvét, melyben többségében olyan fűrészgépeket és azok elemeit mutatta be, amelyeket ma már faipari gépekként ismerünk, de akkor még – mivel a faipar még része volt az erdőgazdálkodásnak – az erdészeti gépek közé sorolták azokat. E fűrészgépek között számos hazai gyártású volt. A faipar a 20. század közepén vált önálló területté, úgy a gazdaságban, mint a tudományos életben.

A traktorgyártás szerte a világban az 1900-as évek elején indult, és néhány évvel később idehaza is megjelentek az első hazai gyártású traktorok, melyeket a gyakorlat – az erdőgazdasági gyakorlat is – Hofherr traktorokként ismert meg (1., 2. képek). A 20. század első harmadának vége felé jelentek meg a világban, és néhány évvel később Magyarországon is az első láncfűrészek. Ugyanekkor a láncfűrészek hazai gyártása is elindult (3., 4. képek), és az 1950-es évek közepéig tartott.



1. kép: A Hofherr körmös traktor ültetőgéppel (forrás: SoE ERTI fotóarchívuma)



2. kép: Két pótkocsis szállítás Hofherr féllánctalpas traktorral (forrás: SoE ERTI fotóarchívuma)



3. kép: KL-150 kétszemélyes láncfűrész (fotó: Tóth J.)



4. kép: DINAMÓ villanymotoros láncfűrész (fotó: Tóth J.)

Ebben az időszakban tehát a hazai ipar az erdészeti gépek közül (kiemelve a fontosabb kategóriákat) időrendben az alábbiakat kezdte el gyártani, és azokat rövidebb-hosszabb ideig gyártotta is:

- a különböző, nagyjából stabil fűrészgépeket (KÖVESI, 1907);
- a keskeny nyomtávú erdei vasutak gördülő szerkezeteit (OROSZI, 2016);
- a Hofherr traktorokat (HAJDÚ, 1987);
- az időszak közepétől a láncfűrészeket és
- az egyszerű erdészeti eszközöket, gépeket (KÁLDY, 1951).

A magyar erdészeti gépgyártás a 20. század közepétől a rendszerváltásig

A 20. sz. közepétől, elsősorban a mobil erőgépek (a mezőgazdasági traktorok és a tehergépkocsik, de tágabb értelemben ebbe a körbe sorolhatók a motorfűrészek is) megjelenésének, majd egy-két évtizeddel később a hidraulikus erőátviteli rendszerek alkalmazásba vételének, és később a többműveletes gépek kialakulásának köszönhetően jelentős fejlődés indult el az erdészeti gépesítésben, így a hazai erdészeti gépgyártásban is. Ennek a folyamatnak logikus következménye volt, hogy az akkori Erdészeti és Faipari Egyetemen 1956-ban létrejött az önálló Erdészeti Géptani Tanszék (HORVÁTH, 2008), az Erdészeti Tudományos Intézetben pedig az önálló Gépesítési Osztály. Ezt követően ezek a kutatóhelyek lettek a hazai erdészeti gépesítési kutatások-fejlesztések bázishelyei.

Az Erdészeti Géptani Tanszék érdemi kutatási tevékenysége akkor indult el, amikor 1959-ben *Dr. Káldy József* lett a tanszék vezetője. Irányításával a tanszék kutatás-fejlesztési tevékenysége az erdészeti gépesítés szinte egész területét átfogta (HORVÁTH, 2000). Számos eredményük, melyek közül a fontosabbak:

- a hasítás gépeinek vizsgálata és fejlesztése;
- a kérgezés gépeinek vizsgálata és fejlesztése;
- az aprítás gépeinek vizsgálata és fejlesztése;
- az erdészeti központi manipulációs telepek gépesítés-fejlesztése;
- a hosszúfás fakitermelési technológiák gépesítés-fejlesztése

egyértelműen hatottak a hazai erdészeti gépgyártás alakulására is.

A hasítás gépei fejlesztéséhez kötődő eredményeik indították el az akkori MEZŐGÉP-TRÖSZT Cserkúti Gyárában a hasítógépgyártást, amely a TH sorozatú hasítógépeket eredményezte. A kérgezés és az aprítás gépeinek fejlesztéséhez kötődő eredményeikre is alapozva az Eger központú erdőgazdaságnál elindult a kérgezógépek és az aprítógépek gyártása. Az erdészeti központi manipulációs telepek (Pusztavacs, Olaszliszka, Pusztavám stb.) kialakítása során az alapgépeket összekötő különböző szállítótranszportörök valósultak meg hazai gyártásuként. Ezeket általában az érintett erdőgazdaság Műszaki Erdészete egyedileg vitelezte ki.

Úttörő munkát végzett az Erdészeti Géptani Tanszék hosszúfában történő termelés és szállítás technológiájának kidolgozásában és elterjesztésében is, ami az akkori hazai gyártású CSEPEL tehergépkocsik (5. kép) és DUTRA traktorok (6. kép) erdészeti alkalmazásba vételét segítette (KÁLDY, 1976). *Káldy* professzor az általa vezetett tanszék kutatási munkáját folyamatosan összehangolta az Erdészeti Tudományos Intézet Gépesítési Osztályán folytatott tevékenységgel, amelyet akkor *Dr. Szepesi László* irányított, ahol szintén elindult az aktív gépfejlesztés, sőt a gyártás is.



5. kép: CSEPEL D352 tehergépkocsi hosszúfa szállítása az 1960-as években
(forrás: SoE EMKI fotóarchívuma)



6. kép: A D4K-B traktor rakoncás pótkocsival
(forrás: SoE EMKI fotóarchívuma)

Ebben az időszakban az erdészeti gépek gyártása (BALOGH et al., 1970; MÉM, 1971, 1972, 1973, 1974, 1976, 1977, 1978):

- az ERTI egyes kísérleti állomásain (7., 8. képek);
- egyes erdőgazdaságok műszaki erdészeteinél (KOVÁCS, 1988) (9., 10. képek);
- a MEZŐGÉPTRÖSZT egyes vállalatainál, melyeket MEZŐGÉP-nek neveztek, eléve a telephely nevét;
- az Erdészeti Gépgyártó Vállalatnál (Szentendre) és
- további néhány cégnél folyt.

Kiemelhető az Erdészeti Gépgyártó Vállalat (EGV) működése, mely a szentendrei Erdészeti Fa- és Vegyesipari Vállalat – a volt Szentendrei Kocsigyár – bázisán, 1980-ban jött létre, és ettől kezdve, az 1993. évi megszűnéséig, koordinálta az erdészeti gépgyártást. Tette ezt az ERTI-vel és a MEZŐGÉP vállalatok némelyikével együttműködve, több esetben azok

korábbi gyártmányainak átvételével, esetenként korszerűsített változatainak gyártásával. Befogadott erdőgazdaságoktól induló újításokat is, megvalósított erdőgazdaságokkal közös feladatmeghatározásokat, melyekre építette a vállalati fejlesztéseit, továbbá gépeket fejlesztett saját kezdeményezésre is (MADOCSEI, 1988). Mindennek következtében széles gyártmány-struktúrája alakult ki, az 1980-as évek közepén az erdőgazdaságokban szükséges mintegy 150 féle gépből kb. 50 félért tudott gyártani, melyek közül – adott időszakokban – mindig a piac igénye szerinti voltak gyártásban (11., 12. képek).



7. kép: E-TM-3 mélylazító (ERTI gyártmánya)
(fotó: Horváth B.)



8. kép: DRP-40 kihordó szerelvény (ERTI gyártmánya)
(fotó: Horváth B.)



9. kép: KR-3 forgógyűrűs kéregzőgép (Mátrai EFAG gyártmánya)
(fotó: Kovács J.)



10. kép: EA-03 mobil aprítógép (Mátrai EFAG gyártmánya)
(fotó: Kovács J.)



11. kép: RP-6 rönkszállító kocsi (EGV gyártmánya)
(fotó: Madocsai Zs.)



12. kép: VÁGTA vágástakarító (EGV gyártmánya)
(fotó: Horváth B.)

A magyar erdészeti gépgyártás a rendszerváltástól napjainkig

A hazai erdészeti gépfejlesztés és az erre épülő gépgyártás az 1980-as évek végére szinte teljesen leállt, holott addig számos olyan gépet (elsősorban erdőművelési gépeket) fejlesztettek és gyártottak, amelyek beváltak, s viszonyainkra alkalmasak voltak. Kb. az 1980-as évek közepéig létezett a hazai erdészeti gépgyártást megalapozó műszaki fejlesztési háttér is, ezt követően azonban a hanyatlás, majd a szinte teljes megszűnés (az Erdészeti

Tudományos Intézet Gépesítési Osztályának felszámolásával) volt osztályrésze. Némi folyamatosságot csak a Soproni Egyetem Erdészeti Géptani Tanszékének tevékenysége jelentett, ahol azonban – profiljának megfelelően – az oktatás az elsődleges feladat. A rendszerváltást követően az erdőgazdaságok rt-kké, később zrt-kké alakultak, és nagyjából ráadásul megszűntek vagy privatizálódtak az erdőgazdaságok műszaki erdészetei, privatizálódott a hazai mezőgazdasági gépgyártás, amik szintén kedvezőtlenül hatottak a hazai erdészeti gépgyártásra.

A 20. század végére az erdészeti gépesítésben az 1980-as évek második felére, illetve az 1990-es évek elejére jellemző negatív folyamatok megálltak, és elindult az újra építkezés. Az 1990-es évek elejétől, a Soproni Egyetem Erdészeti Géptani Tanszéke (amelyet *Dr. Horváth Béla* vezetett), Az Országos Erdészeti Egyesület Erdészeti Gépesítési Szakosztálya (korábban *ifj. Káldy József*, majd *Dr. Horváth Béla* vezetésével), az Alföldi Erdőkért Egyesület Műszaki Szakbizottsága (amelyet *Szabó József* vezetett), és egy-két erdészeti rt. tevékenységének köszönhetően a mélypontról lassú elmozdulás volt tapasztalható. A rendszerváltás előtti erdészeti gépgyártókból – az új formációk mellett – csak néhány maradt, a korábbihoz képest általában csökkentett, kevés esetben bővült gyártási profillal.

Kezdetben azonban az erők még eléggé szétforgácsoltak voltak, és nem mindig tették lehetővé az optimális megoldásokat az erdészeti gépesítések műszaki fejlesztésében, illetve a hazai erdészeti gépgyártásban. Történt azonban néhány olyan biztató változás, amely reménykedésre adott okot.

A kilencvenes évek elején a korábbi Mezőgépfelkészítő Intézet (Budapest) – rövid nevén: MEFI – privatizációja után felvette a Mezőgépfelkészítő Ipari Rt. nevet (MEFI Rt.), – amelyet *Dr. Fekete Gyula* vezetett – és nyitott volt az erdészeti gépek fejlesztése és gyártása irányába úgy, hogy átvette néhány korábban máshol gyártott gép gyártását (pl. ETB-1 sorközművelő tárcsa, ERZ-1 szárzúzó, ALV-1 csemetealávágó), és elindított saját fejlesztéseket is (pl. RSZ-8 kihordó).

A hazai erdészeti gépgyártás háttérének fejlesztése érdekében említésre méltóak az OEE Erdészeti Gépesítési Szakosztályának 1990-es évek végén tett azon lépései, amelyek a MEFI Rt. erdészeti gépfejlesztő és gyártó bázissá alakítása érdekében folytak. Az elképzelések szerint a MEFI Rt-t kivásárolta volna az erdőgazdasági gyakorlat, létrehozva ezáltal egy, az erdőgazdaságok által irányított gépfejlesztő és gépgyártó helyet a MEFI Rt. szellemi és anyagi bázisán. Az elképzelések sajnos nem valósultak meg, ezért ez a fejlesztő-gyártó hely csak a 2010-es évek elejéig működött.

Szintén a kilencvenes évek elejétől aktív gépgyártó tevékenység indult el a Somogyi EFAG privatizált műszaki erdészeténél, amely ERDŐGÉP Kft. (Kaposvár) néven kezdte el működését. Gyártási tevékenysége kiterjedt: tehergépkocsik és hidraulikus daruk, továbbá mezőgazdasági traktorok és hidraulikus daruk összeépítésére az igények szerinti variációkban; erdőművelési gépek (pl. EFE-1 pásztakészítő eke, ZÚZÓ-1 szárzúzó, láncos pásztakészítő, VÁGTA vágástakarító, VNT-14 nehéz tárcsa), és néhány fahasználati gép (pl. tehergépkocsik rakoncás felépítménye, E-050 erdészeti markolókanál, SR kihordó pótkocsi-család) tervezésére, gyártására. Gyártott gépeik egy részét az erdészeti gépgyártóként megszűnő DIAZ Kft-től vette át, más részük saját, ill. a MEFI Rt-vel közös fejlesztésű volt.

Magánkézbe került a Bagodi MEZŐGÉP, amely Bagodi Mezőgép Kft. néven működött tovább, megtartva és jelentősen bővítve korábbi erdészeti gépgyártó profilját. A NymE EMKI Géptani Tanszékével együttműködve csemetetermesztési- és erdőtelepítési gépsorokat fejlesztett, és kezdte el gyártásukat (*13., 14. képek*).



13. kép: BNV-5-EF nagymagvető gép (Bagodi MEZŐGÉP gyártmánya) (fotó: Horváth B.)



14. kép: BAK-1,25-EF ágyáskiemelő gép (Bagodi MEZŐGÉP gyártmánya) (fotó: Horváth B.)

A hazai erdészeti gépgyártáshoz kötődően kiemelendő az OEE Erdészeti Gépesítési Szakosztályának az a tevékenysége, amelyet 1996-tól folytatott annak érdekében, hogy az akkorra korszerűtlenné vált szovjet KAMAZ típusú erdészeti tehergépkocsi-parkot hazai gyártásúval váltsa fel. Az Erdészeti Gépesítési Szakosztály keretében megfogalmazódtak egy korszerű, hazai gyártású erdészeti tehergépkocsival szembeni elvárások, melyek alapján a Szakosztály vezetése előrehaladott tárgyalásokat folytatott először a CSEPEL Autógyár Kft. Járműgyártó Divíziójával, akikre építve a kivitelezés végül is nem valósult meg, mivel nem sikerült a költségviselésre vonatkozóan kölcsönösen elfogadható megoldást találni. Eredményesek voltak viszont a tárgyalások ezt követően a RÁBA Rt. Jármű Üzletágával, ahol 1998-ban – a Somogyi Erdészeti és Faipari Rt. megrendelésére – elkészült egy háromtengelyes, összkerék-hajtású, 10 tonna teherbírású erdészeti tehergépkocsi magajáró alvázának a prototípusa, amelyhez a felépítményt a MEFI Rt. tervei alapján az ERDŐGÉP Kft. készítette (15., 16. képek). A prototípust a 2000-es évek elején még több mint 30 db gép gyártása követte. A napjainkban is létező típus gyártását a piaci verseny sajnos háttérbe szorította.



15. kép: A RÁBA-27.235-6.6-000 erdészeti tehergépkocsi (fotó: Horváth B.)



16. kép: A RÁBA-27.235-6.6-001 erdészeti tehergépkocsi RÁBA-571.51-003 erdészeti pótkocsival (fotó: Horváth B.)

1999-ben az OEE Erdészeti Gépesítési Szakosztályának kezdeményezésére a Soproni Egyetem Erdészeti Géptani Tanszéke felmérést készített a hazai gyártású erdészeti gépekről. Eredményeként 2000-ben – a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium (Budapest) és a Mecseki Erdészeti Rt. (Pécs) anyagi támogatásával – megjelentette a „Hazai gyártású erdészeti gépek” c. kiadványt. Ebben 52 gépféleség kapott helyet, ami mutatja, hogy erre az időre magára talált a hazai erdészeti gépgyártás (HORVÁTH - CZUPY - MAJOR, 2000).

A magyar erdészeti gépgyártás jelene, várható jövője

Napjainkban a hazai erdészeti gépfejlesztés és az erre épülő gépgyártás ismét mélypontját éli, és nagyon minimálisra csökkent a hazai erdészeti gépgyártás volumene. Okait a következőkben részletezem.

Nem működik a hazai erdészeti gépesítési kutatás-fejlesztés. Már korábban megszűnt az ERTI Gépesítési Osztálya, napjainkra pedig a SoE Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet (vezető: 2014-től 2021-ig *Dr. Czupy Imre*) Géptani Tanszékének kutatás-fejlesztési aktivitása némiképpen csökkent, és a súlypontok a faenergetikai kutatások irányába tolódtak el. Ráadásul 2021-ben az intézet beolvadt az Erdő- és Természeti Erőforrás-gazdálkodási Intézetbe (vezető: *Dr. Lakatos Ferenc*) ahol a gépesítéssel foglalkozó munkatársak száma lényegesen csökkent (érdemben 2 fő foglalkozik ezzel a területtel).

Szünetelnek a pályázati lehetőségek, amik a 2000-es évek elején nagyot lendítettek a hazai erdészeti gépfejlesztéseken, és az erre épülő gépgyártásokon.

Tulajdonos-váltások következtek be az erdészeti gépgyártóknál, ami több esetben a gyártási profil módosulásával járt együtt, ami az erdészeti gépgyártás teljes megszűnését, vagy lényeges szűkülését jelentette.

Különösen igaz ez az elmúlt évtizedek meghatározó, legjelentősebb hazai erdészeti gépgyártóra, a Bagodi Mezőgép Kft-re, amelynek profilja a bányagépek irányába tolódott, és teljesen leállt náluk az erdészeti gépfejlesztés. Megrendelés esetén ugyan még gyártanak erdészeti gépeket, de ez a folyamat eléggé akadozva megy.

Egyes gyártóhelyek teljesen megszűntek az elmúlt évtizedben vagy abbahagyták az erdészeti gépek gyártását.

A hazai erdészeti gépgyártás termékei még a hazai piacokon sem ismertek széles körben, a nemzetközi piacokra pedig egyáltalán nem jutnak ki. Pl. a 2024. évi Agromashexpo mezőgazdasági gépkiallításon összesen csak egy erdészeti gépgyártó, az IG+JM Kft. volt jelen (kereskedők, külföldi gépekkel, azért voltak).

A jövőben a hazai erdészeti gépgyártás piaci alapokon, de a jelenleginél jobban összehangolt műszaki fejlesztési háttér mellett maradhat csak működőképes. A fejlődés olyan háttér-bázissal képzelhető el, amely biztosítja az erdészeti gépesítési terület kutatásának és műszaki fejlesztésének (K+F+I tevékenységének) vitelét, összehangolását, és figyelembe veszi az automatizálás és a robotizáció kínálati lehetőségeit.

A hazai erdészeti gépgyártás – kisebb-nagyobb hullámvölgyekkel – az érdemi erdészeti gépesítés kezdeteitől létezik. Fenntartása a továbbiakban is szükséges, ami – megítélésem szerint – a következők mellett lehetséges:

- létrejön egy működőképes kutatás-fejlesztési háttér (K+F+I csoport);
- lesznek pályázati lehetőségek;
- lesz egy vezető erdészeti gépgyártó cég;
- az erdész szakma egyértelműen jelzi, mi az a technikai háttér, amire hazai gyártásúként szükség van;
- teret nyer az automatizáció és a robotizáció a hazai gyártású erdészeti gépeken (*17., 18. képek*);
- a hazai erdészeti gépfejlesztések kapcsolódnak a hadiipari fejlesztésekhez;
- javul az erdészeti gépgyártás marketingje.



17. kép: Kétsoros gödörfúró robot
(Hári Kft. gyártmánya) (fotó: Major T.)



18. kép: KERTITOX DFB növényvédelmi drón-
töltő rendszer (FARMGÉP Kft. gyártmánya)
(forrás: gyártói honlap)

Irodalomjegyzék

- BALOGH F. - JUHOS L. - ZIMÁNYI S. (1970): Erdészeti gépeink. AGROTRÖSZT, Budapest. 116 p.
- HAJDÚ I. (1987): Áttekintés az 1950 utáni gépesítésről. Erdészettörténeti Közlemények. 13-14:76-81.
- HORVÁTH B. (2000): Káldy József (1920-1983). Erdésznagyjaink arcképcsarnoka 9. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron. 26 p.
- HORVÁTH B. (2008): Géptan. 151-179. In. Albert L. szerk. (2008): Az erdészeti felsőoktatás 200 éve. Emlékkönyv Selmecbánya 1808 – Sopron 2008. NymE, Sopron. II. kötet. 420 p.
- HORVÁTH B. (2026): A magyar erdészeti gépgyártás képes története. Megjelenés alatt.
- HORVÁTH B. - CZUPY I. - MAJOR T. (2000): Hazai gyártású erdészeti gépek. Gépesítési információ, 15. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron. 96 p.
- KÁLDY J. (1951): Gépesítjük az erdőgazdálkodást. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 98 p.
- KÁLDY J. (1976): A hosszúfás termelési rendszer hazai eredményeiről és a további teendőkről. Az Erdő XXV. 11:481-489.
- KOVÁCS J. (1988): Az erdőgazdasági gépek fejlesztése és gyártása a Mátra-nyugatbükki Erdő- és Fafeldolgozó Gazdaságban. Az Erdő, XXXVII. 5:210-214.
- KÖVESI A. (1907): Erdészeti géptan. Pátria Irodalmi Vállalat és Nyomdai Rt., Budapest.
- MADOCSEI ZS. (1988): Fejlesztési eredmények és gépgyártás az ERDŐGÉP-nél. Az Erdő, XXXVII. 5:206-210.
- MÉM (1971): Fagazdasági gépek és berendezések bemutatója (Tolna, Szálka, Pörboly, Keselyűs). Kiadó: Erdészeti Műszaki és Szervezési Iroda, Budapest. 76 p.
- MÉM (1972): Fagazdasági Műszaki Napok (Sárvár, Bajti, Csipkerek, Szombathely). Kiadó: Erdészeti Műszaki és Szervezési Iroda, Budapest. 92 p.
- MÉM (1973): Fagazdasági Műszaki Napok (Gyulaj, Mohács). Kiadó: Erdészeti Műszaki és Szervezési Iroda, Budapest. 110 p.
- MÉM (1974): Fagazdasági Műszaki Napok (Eger). Kiadó: Erdészeti Műszaki és Szervezési Iroda, Budapest. 96 p.
- MÉM (1976): Fagazdasági Műszaki Napok (Veszprém, Farkasgepű). Kiadó: Erdészeti Műszaki és Szervezési Iroda, Budapest.
- MÉM (1977): Fagazdasági Műszaki Napok (Debrecen). Kiadó: Erdészeti Műszaki és Szervezési Iroda, Budapest.
- MÉM (1978): Fagazdasági Műszaki Napok (Boly, Zengővárkony). Kiadó: Erdészeti Műszaki és Szervezési Iroda, Budapest.
- OROSZI S. (2016): A magyar erdőgazdálkodás képes története, 1919-1944. Erdészettörténeti Közlemények, XCIII.

SZARVAS, MUFLON ÉS A KLÍMASZÁRAZODÁS SZORÍTÁSÁBAN – A VÉRTESI JUHDÖGLŐ-VÖLGY ERDŐREZERVÁTUM AGÓNIAJA

Under pressure from deer, mouflon and climate drying –
the agony of the Juhdöglő-völgy strict forest reserve

HORVÁTH FERENC¹, DEMETER LÁSZLÓ¹, LUKÁCS MÁRIÓ², PAPP VIKTOR³,
SZABÓ GÁBOR⁴, SZEGLETI ZSÓFIA⁵, VIG ÁKOS⁶ ÉS ZIMMERMANN ZITA⁴

¹HUN-REN ÖK, Ökológiai és Botanikai Intézet

²MTA ÖK ÖBI korábbi munkatárs

³MATE Budai Campus, Növénytani Tanszék

⁴Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság

⁵Kuny Domokos Múzeum

⁶MATE, Szent István Campus

horvath.ferenc@ecolres.hu

Kivonat

A Juhdöglő-völgy meredek oldalában meghagyott erdő az 1930-as években 150 éves lehetett. Az erdőrezervátum alapfelmérésekor, 2013-ban a bükk 50 cm magasságot meghaladó újulata az évtizedek óta záródáshiányos állományban csak 104 tő/ha volt, 92%-os hajtás-csúcs rágottság mellett. A gyertyános-tölgyesben csak a virágos kőris újult (sűrűsége 533 tő/ha, 100% csúcsrágottsággal). A 2025-ös újrafelmérés a természetes felújulás teljes hiányát bizonyítja. Az uralkodó fafajok újulatának sűrűsége: 0 tő/ha, mezei juhar: 28 tő újulat/ha, továbbá szórványosan mezei szil, virágos kőris és gyertyán, mintegy 25 hektáron, 100 mintavételi ponton. Az öreg bükkösben a 60 cm-nél vastagabb egészséges fák hektáronkénti tőszáma 2013-ban már igen alacsony: 26 tő/ha volt, amely 2025-re tovább csökkent. A vad által erősen erodált, sekély rendzina talajokon a 2020-as aszályos évek sorozata felgyorsította a termőhely további leromlását és a fák kiszáradását. A természetes felújulást évtizedek óta blokkolja a túltartott vad, miközben a fák rohamosan pusztulnak.

Abstract

The forest left on the steep side of the Juhdöglő Valley was 150 years old in the 1930s. At the time of the basic survey of the forest reserve in 2013, the regeneration of beech exceeding 50 cm in height in the stand that had been lacking closure for decades was only 104 trees/ha, with a shoot tip browsing of 92%. In the hornbeam-oak forest, only flowering ash regenerated (its density was 533 trees/ha, with 100% browsing). The re-survey in 2025 proves the complete lack of natural regeneration. The density of the dominant tree species is 0 trees/ha, field maple: 28 trees/ha, and sporadically scots elm, flowering ash and hornbeam, on about 25 hectares, at 100 sampling points. In the old beech forest, the number of healthy trees thicker than 60 cm per hectare was already very low in 2013: 26 trees/ha, which decreased further by 2025. On shallow rendzina soils heavily eroded by wildlife, the series of drought years in 2020 accelerated the further degradation of the habitat and the drying out of the trees. Natural regeneration has been blocked for decades by overgrazed wildlife, while the trees are rapidly dying.

Bevezetés

“Az erdei életközösség védelme érdekében ... az élőhely tűréshatárán túli vadsűrűséget szabályozni szükséges” (FM 2016). Mostanában a szabad tartású jelentett szarvasállomány országosan 128.000 körül, a mufloné pedig 12.000 példány körül alakult, kissé növekvő teríték mellett (CSÁNYI és mtsai, 2024). Ugyanakkor az érvényes vadgazdálkodási tervek szerint az

élőhelyeket még nem veszélyeztető legmagasabb vadlétszám 58.000 gímszarvas és 4.000 muflon lenne. Ezt a határt a szarvas az 1990-es évek második felétől, a muflon pedig már az 1970-es évek második felétől jelentősen meghaladta (TURÓS 2003). Csányi és mtsai (2024) kiemeli, hogy *“a 2023/2024. vadászati évben a gímszarvas és a dámszarvas terítéke tovább növekedett. ... Ismételten megállapítható, hogy a gímszarvas lelövések minden korábbinál meghaladó száma sem okozott csökkenést, és nem veszélyezteti az állományt. Az elmúlt évtizedben megemelt lelövések fenntartása és további növelése szükséges ... A magas hasznosítási arány (69%) pedig azt jelzi, hogy az állomány tényleges létszáma is sokkal nagyobb (akár 250–300 ezer) lehet a jelentésekben szereplőnél”*.

Mindezek tükrében a botanikusok, erdőökológusok és természetvédők régóta hangoztatott véleménye a káros mértékben túltartott vadállományról megerősítést nyert. Újabban ez a felismerés egyre szélesebb körben kap hangot az erdőgazdálkodók körében is. A 2025-ben megalakult Erdészeti Klímaadaptációs Fórum keretében külön munkacsoport foglalkozik a vadhatás értékelésével, és a vadállomány szükséges szabályozásának kérdésével (NAK 2025). A rendkívüli aszályok sorozata az erdők egészségi állapotát tovább rontja (pl. AM ERF 2025), felerősítve az erdőkre nehezedő kettős nyomás következményeit. Az erdők és az erdőgazdálkodók helyzete igen súlyos.

A természetes erdőállományokban a vadhatás elsősorban az újulati és cserjeszintben (továbbá az aljnövényzetben és a talaj bolygatásában) jelentkezik, amely nagymértékben meghatározza a természetes felújulás lehetőségeit, az állomány szerkezetétől, zártságától-nyitottságától, valamint az erdőművelés módjától függően (pl. REIMOSER – PUTMAN 2011). Az egymást követő aszályos évek a fák egészségromlását, szélsőséges esetben pedig azok kiszáradását, pusztulását okozza.

Ebben a vizsgálatban először foglaljuk össze a Vértesben fekvő Juhdöglő-völgy Erdőrezervátum 2013-as alapfelmérésének és 2025-ös újrafelmérésének legfőbb eredményeit és tanulságait, abból a célból, hogy bemutassuk a magterület öregerdő állományának felújulási kudarcát és az általunk vizsgált vadhatás mértékét, valamint a fák mortalitásának jellegzetességeit.

Anyag és módszer

A Vértes domborzatát keskeny szurdokok, oldalgerincek, meredek lejtőjű völgyek és sásbércek tagolják. Az erdőrezervátum egy dolomitplatóba bevágódott szárazvölgy és oldalágai, amely 1976 óta a Vértesi Tájvédelmi Körzet része. Gróf Merán Fülöp az adósságai kifizetésére 150.000 úrméter bükk és kőrisfát adott el lábón az 1930-as években – ekkor tarolták le a Vértes bükköseinek jelentős részét. A fa szállítására erdei vasutat építettek, a Bodajkra vezető vonalhoz csatlakoztatva. A Juhdöglő-völgyből a meredek oldalakon a fákat nem tudták a vasúthoz felvinni, s így a feltáró-hálózat hiányossága mentette meg az utókor-nak az erdőrezervátumot. Legöregebb része akkoriban 150 éves lehetett (VADÁSZ 1987). A vadorzás 1945/46-ban a szarvas- és őzállományt szinte teljesen kipusztította, míg ez a vaddisznó állományát alig érintette (MERÁN 2015). A vadállományokat gyors ütemben regenerálták, majd azok nagy mértékben elszaporodtak (CSÁNYI és mtsai 2024, TURÓS 2003). A muflont id. Právecz Antal és Ádámfi Tamás telepítették be 1976-ban.

A területen erdészeti beavatkozások évtizedek óta nem történtek, azonban a térség szarvas, vaddisznó és muflon állománya régóta magas. Hatásuk hosszú ideje gátolja a természetes felújulást és fokozott eróziót okoz a meredek völgyoldalakban. A Pro Vértes Természetvédelmi Közalapítvány 1996-os felmérése alapján a terület babérboroszlános szubmontán bükkös, hársas törmeléklejtő erdő, elegyes karszterdő, mészkedvelő tölgyes, cseres tölgyes, nyílt és zárt dolomit sziklagyep társulások állományaiából áll.

A magterületen az MTA ÖK Ökológiai és Botanikai Intézet 2013-ban hosszú távú vizsgálatsorozatot indított és elkészítette a faállomány-szerkezet (FAÁSZ – HORVÁTH 2012), az újulati és cserjeszint (ÚJCS – HORVÁTH 2024), valamint az aljnövényzet (ANÖV – ÓDOR és mtsai 2009) egységes alapfelmérését az ERDŐ+h+á+l+ó 102 állandósított mintavételi pontjában, amelyekből 2025-ben 100-at mértünk fel újra (1. ábra).

A természetes felújulást az erdő szintjei szerint felmért fa- és cserjefajok denzitásával (N – hektáronkénti tőszám), a denzitások vertikális profiljával jellemezzük. Az 50 cm magasságot még el nem érő fásszárú fajokról az ANÖV protokoll gyűjt relatív gyakorisági adatokat a 0,5 m²-es almintakörökben való előfordulások alapján (ÓDOR és mtsai 2009). Ezt denzitási valószínűségre lehet konvertálni az alábbi egyenlőtlenség szerint. Lineáris korreláció alapján, adott fajra, a becsült relatív gyakoriság, mint BRGY = [0,004 - 1] tartományra:

$$\text{becsült denzitás (tő/ha)} \geq 19.886 * \text{becsült relatív gyakoriság} + 7$$

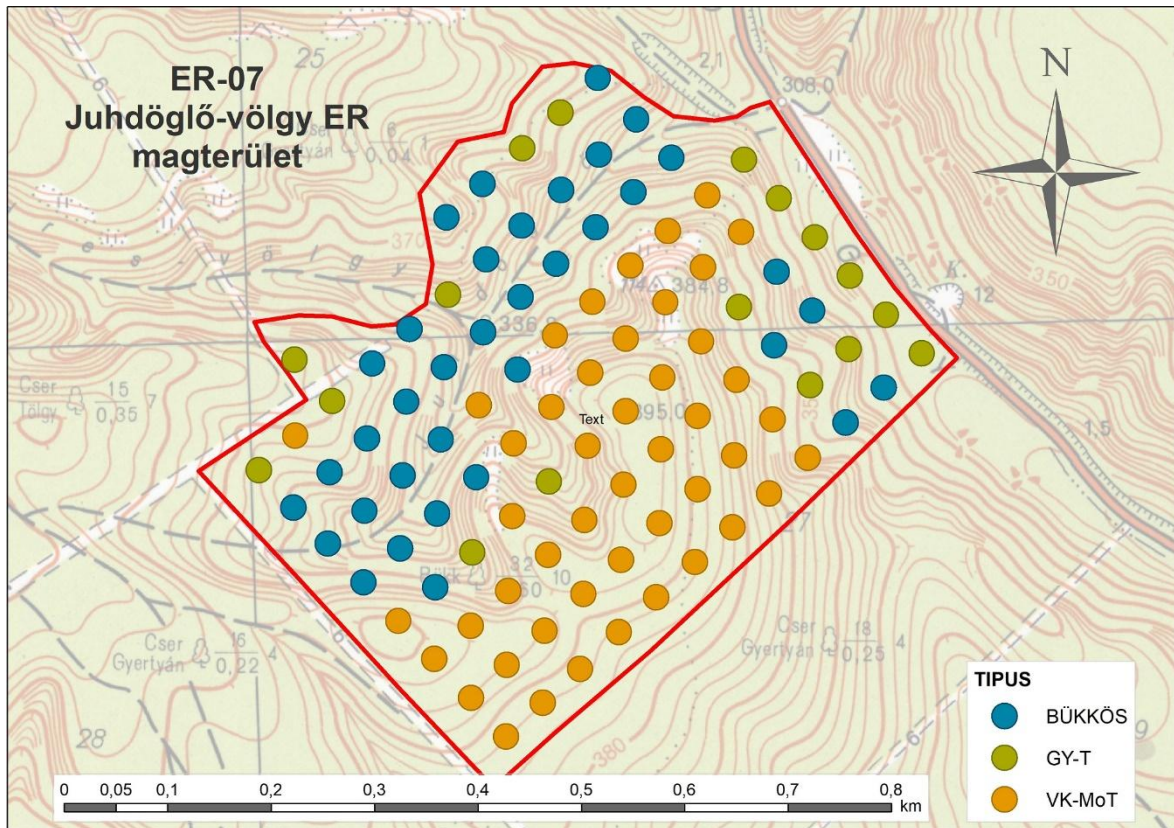
A többi protokoll a fajok sűrűségét (N) közvetlenül hektáronkénti tőszámban fejezi ki, ezért a profil-eredmények összehasonlíthatóvá válnak. Az újulati és cserjeszint a 0,5 m-t elérő, ill. meghaladó fákat és cserjéket veszi figyelembe, amíg mellmagassági átmérőjük el nem éri az 5 cm-t. A legalább 5 cm-es fákat/cserjéket már a FAÁSZ protokoll szerint mérjük fel. Ebben a vizsgálatban az [5-10 cm) és [10-20 cm) átmérőtartományokra aggregáltuk a FAÁSZ adatokból származtatható denzitási értékeket. A fák felújulásának legfőbb küzdelmi zónája az ANÖV és ÚJCS szintekhez kötődik. Öt cm vastagságtól a fácskák gyakorlatilag már 'kinőnek a vad szájából'. A vad hatásának közvetlen indikátoraként a legutóbb befásodott hajtáscsúcsok rágottságát tekintjük, amelyet az összes hajtás %-ában fejezünk ki (HORVÁTH 2024).

Mivel a természetes felújulási folyamatokat az állomány zártsága, ill. lékessége nagymértékben meghatározza, ennek bemutatására a záródást és a lékesség eloszlását választottuk. Lékességi kategóriák a lombkorona szintben: NINCS lék (L0); 1 uralkodó helyzetű fa kidőlésével, pusztulásával keletkezett lék (L1); 2-3 uralkodó helyzetű fa kidőlésével, pusztulásával keletkezett lék vagy lékek (L23); ennél nagyobb, többé-kevésbé egybefüggő lék vagy lékek (LX).

Az egyes fák, két felmérés között bekövetkezett mortalitásának bemutatására jelen értékelés során azt vizsgáltuk meg, hogy a 2013-ban élt fák közül melyiket találtuk meg élve, ill. kiszáradva, elpusztulva a 2025-ös újrafelmérés során. Az értékeléshez a 100 mintavételi pontban 2563 fa egészségi állapotát használtuk fel. Az adatokat, főbb fafajonként, az 5-10cm, 10-20cm, 20-40cm, 40-60cm, 60-80cm, 80-100cm és a ≥ 100 cm-es átmérőtartományokra összesítettük. Ezzel a fafajonkénti mortalitás mértékét átmérőcsoportonként is át lehet tekinteni.

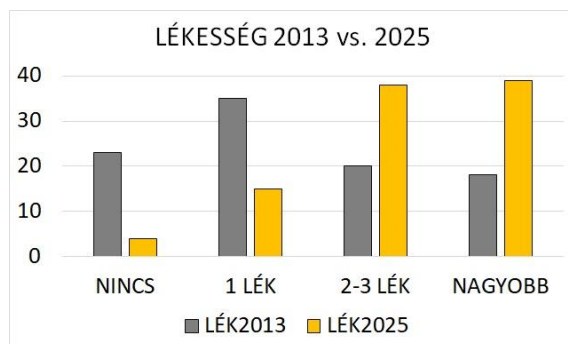
Eredmények

A két felmérés záródási viszonyai között nem találtunk érdemi különbséget: 70% és 72% \pm 19% 2013-ban és 2025-ben. A záródási értékek tartománya mindkét esetben nagy: 30-100% és 15-98%. Ugyanakkor a lékességi viszonyok mintázat markánsan különbözik, amelyet a 2. ábra mutat. Az újrafelmérés során már a 2-3 vagy nagyobb lékek gyakorisága dominál. Mind a 70-72%-os záródás, mind pedig a lékesség mintázata azt jelzi, hogy a magterület lombozata hosszabb ideje, változatosan laza, foltosan felszakadozott – nagy területű összeroppanásoktól mentes, de nem is zárt. Ilyen állományszerkezet és fényviszonyok mellett a természetes felújulásnak erőteljesnek kellene lennie. Azonban mindkét alkalommal a felújulás szinte teljes kudarcát dokumentáltuk.

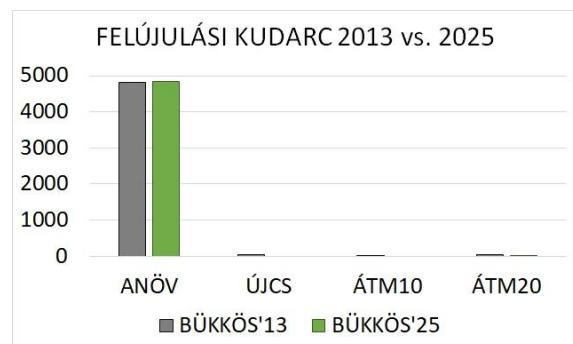


1. ábra: ERDŐ+h+a+l+ó – a mintavételi pontok hálózata a Juhdöglő-völgy Erdőrezervátum magterületén, a fő erdőtípusok szerint színezve.

A 3. ábra mutatja, hogy bár az aljnövényzeti szintben (tehát 50 cm alatt) közepes sűrűséggel (legalább 4.800 tő/ha) található bükk, magas kőrös, hegyi juhar vagy korai juhar újulat, az újulati és cserjeszintbe és a faállományszerkezet alsóbb szintjeibe ezek már nem képesek felnőni a magterület bükkös állományaiban.



2. ábra: Lékességi kategóriák eloszlása 2013-ban és 2025-ben



3. ábra: A bükkösök felújulási kudarca: B, MK, HJ és KJ újulat sűrűsége

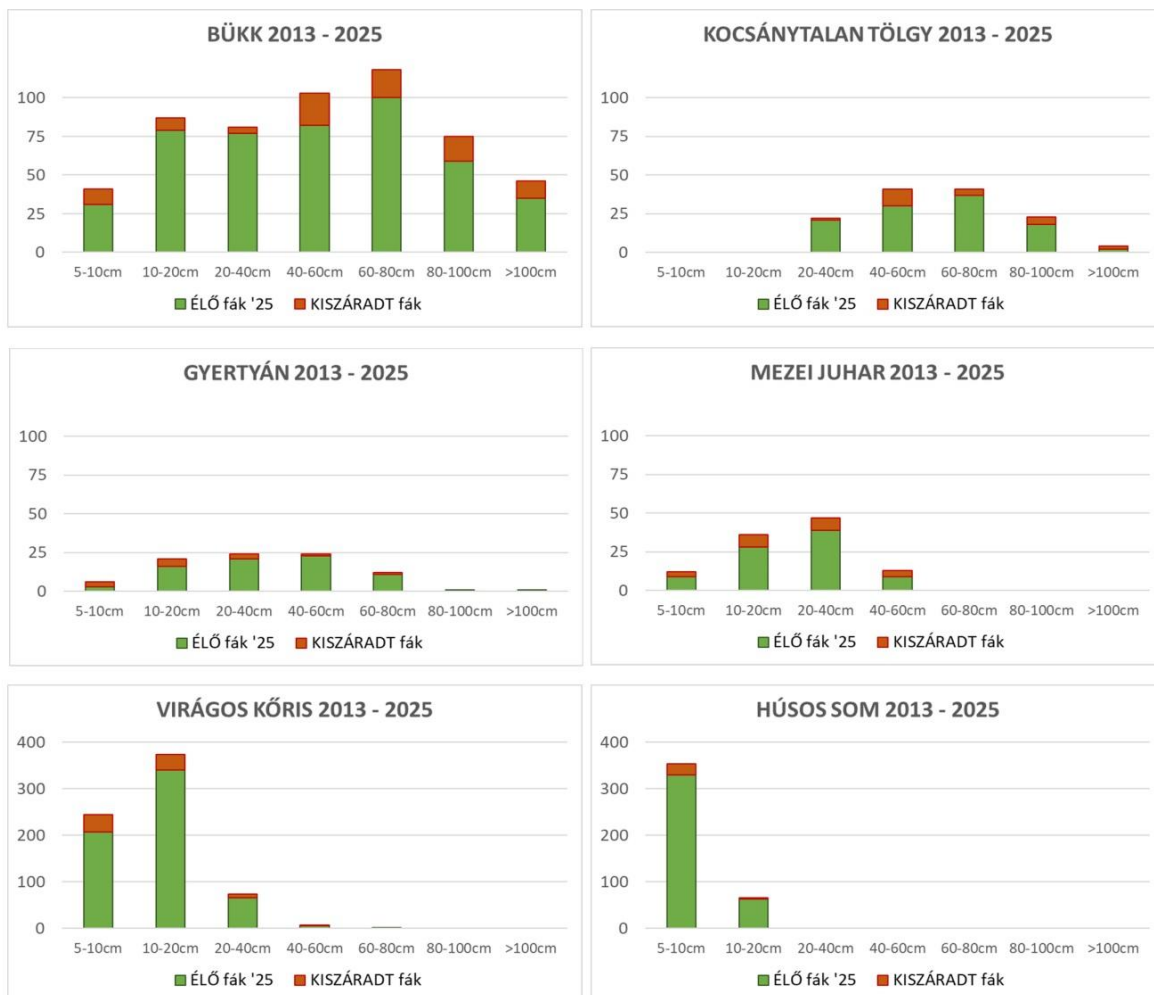
Az 1. táblázat részletes képet mutat minden faj és cserje faj esetére. A fajok 50 cm-t meghaladó újulata szinte teljesen hiányzik vagy minimális, amely alól a virágos kőrös tekintendő kivételnek – de csak igen kis mértékben. A vadrágáshoz adaptálódott galagonyák és húsos som denzitása is nagyon alacsony. Az újulati és cserjeszint összes sűrűsége 538 és 322 tő/ha 2013-ban és 2025-ben, amelynek nagyobb részét a cserjék adják. Mindeközben az ÚJCS szint általános hajtáscsúcs rágottsága 78% és 82%. Ez igen magas érték, figyelembe véve azt is, hogy a húsos som és a galagonyák rágottsága „csak” 65% és 90% között alakult.

1. táblázat: A fa- és cserjefajok hajtás sűrűsége (N – tő/ha) az erdő alsóbb szintjeiben 2013-ban, és 2025-ben. Rövidítések: ANÖV – aljnövényzeti szint; ÚJCS – újulati és cserjeszint; ÁTM10 – a faállomány-szerkezet [5-10 cm)-es átmérőtartományában; ÁTM20 – a faállomány-szerkezet [10-20 cm)-es átmérőtartományában. B – *Fagus sylvatica*, MK – *Fraxinus excelsior*, KH és NH – *Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, KJ és HJ – *Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus*, KTT – *Quercus petraea*, CST – *Q. cerris*, GY – *Carpinus betulus*, MJ – *Acer campestre*, MoT – *Q. pubescens*, VK – *Fraxinus ornus*, HUSO – *Cornus mas*, GAL – *Crataegus monogyna*, *Cr. laevigata*, VR – *Rosa canina* agg., KR – *Euonymus europaeus*, *Eu. verrucosus*, BO – *Daphne laureola*, *D. cneorum*

Fa- és cserjefajok	N _{ANÖV} 2013	N _{ÚJCS} 2013	N _{ÁTM10} 2013	N _{ÁTM20} 2013	N _{ANÖV} 2025	N _{ÚJCS} 2025	N _{ÁTM10} 2025	N _{ÁTM20} 2025
B	1.831	38	16	34	1.257	0	9	26
MK	1.414	0	0	0	1.973	0	0	0
KH és NH	373	3	0	0	467	0	0	0
KJ és HJ	1.562	9	0	2	1.621	0	0	1
KTT	108	0	0	0	1.208	0	0	0
CST	680	16	0	0	86	0	0	0
GY	457	0	2	8	1.057	9	0	3
MJ	3.089	47	5	14	6.146	28	2	10
MoT	303	0	1	2	0	0	0	2
VK	7.751	106	101	154	8.452	13	59	149
HUSO	461	56	144	26	1.321	100	135	37
GAL-k	440	203	27	4	870	134	21	9
VR	302	28	0	0	624	3	0	0
KR-k	252	0	0	0	139	0	0	0
BOR-k	38	3	0	0	191	13	0	0
EGYÉB	659	28	3	4	565	22	2	3
ÖSZ-SZESEN	19.719	538	299	249	25.976	322	228	240

A fontosabb fák pusztulásának, kiszáradásának arányait és mértékét a két felmérés között a 4. ábra mutatja (megj: az átmérőeloszlások mintázata nem reprezentatív a faállomány-szerkezetre nézve, mert a mintavétel miatt szükséges korrekciót még nem volt időnk elvégezni). Az ábrák egyik fő tanulsága, hogy jelentős fapusztulás minden méret- ill. korosztályban

előfordult, bár korántsem egyenletesen. Jellemző továbbá, hogy a húsos som, valamint a virágos kőris esetében a mortalitás sokkal alacsonyabb a többi fafajhoz képest. A 15% – 21% közötti mortalitás kiemelkedően magasnak számít, különösen akkor, ha a kiszáradások bekövetkeztét elsősorban az utóbbi (aszályos) évekre valószínűsítjük, mint ahogyan a Vértesserdő Zrt erdészeti igazgatója mondta „... már számos [bükk]fán a csúcs-száradás jelentkezik, sőt vannak olyan fák, amelyek ... el kezdtek száradni” (ERDŐMÁNIA 2025)



4. ábra: A fontosabb fajok mortalitásának mértéke (B – 16%, KTT – 18%, GY – 15%, MJ – 21%, VK – 11%, HUSO – 6%) és annak átmérőosztályok szerinti eloszlása 2013 és 2025 között

Következtetések

A 2013-as és 2025-ös felmérések első eredményei alapján, a magterület öreg erdeje jelentős mértékben pusztul. Ezt mutatják a terepmunka során készített fényképek is: https://erdorezervatum.hu/Aszaly_es_muflonnyajak_Juhdoglo. Fokozatosan lékesedik, ligetesedik, de még nem tapasztaltunk nagyobb területű faállomány összeomlást. Azonban az újulati és cserjeszint, valamint a fiatal fák tartománya szinte teljesen üres volt mindkét alkalommal. Az itt található igen kevés cserje és újulat rágottsága rendkívül magas. A terepi tapasztalatok a sziklagyepek és az aljnövényzet teljes lerágottságát mutatják, a talajfelszín jelentős bolygatásával. A meredek oldalak eróziója fokozott mértékű, helyenként alapkőzetig degradált. A terepmunka során minden alkalommal talákoztunk szarvasokkal és muflonokkal, de az országos és regionális vadállomány-mutatók is kiugróan magasak, sőt növekvő általános

tendenciájúak az utóbbi évtizedeket tekintve. A Vérteserdő a felújításokat csak kerítés védelmében tudja elvégezni. Riezing Norbert újabban a vadragás következtében benszülött berkenyi kistaj bizonyított kipusztulásáról számolt be (RIEZING 2025).

A vad által erősen erodált, sekély rendzina talajokon a 2020-as aszályos évek sorozata felgyorsította a termőhely további leromlását és a fák kiszáradását. Mindezek egyre inkább megkérdőjelezzik az erdőrezervátum és az ökológiai értelemben fenntartható természetes erdők jövőjét. A természetesnek már egyáltalán nem tekinthető faállomány-dinamika az eddig feltételezett fejlődési pályáról messze letért. A felmérési eredmények alaposabb elemzésével további részletek felderítésére és megértésére törekszünk.

Köszönetnyilvánítás

Az újrafelmérés az AM Erdőgazdálkodási Főosztály támogatásával valósult meg. A 2025-ös felmérések során Barina Zoltán, Bíró Attila, Jakabffy Lili, Kerekes Milán és Ulbert Zsófia terepmunkájára támaszkodtunk, amelyet ezúton is köszönünk. A korábbi felmérést az MTA ÖK Ökológiai és Botanikai Intézet finanszírozta.

Irodalomjegyzék

- AM ERDŐRENDEZÉSI FŐOSZTÁLY (2025): Erdünk egészségi állapota 2025-ben. Agrárminisztérium, Budapest, 37 old.
- CSÁNYI S. – MÁRTON M. – BÓTI SZ. – SCHALLY G. (2024): Vadgazdálkodási Adattár – 2022/2023. vadászati év. MATE VTI, Országos Vadgazdálkodási Adattár, Gödöllő, 70 old.
- ERDŐMÁMIA – LIMP T. (2025): Miért és hogyan kell felújítani az erdőket? URL: https://www.youtube.com/watch?v=nvO6Qer_gUc&t=200s Letöltés: 2026.01.12.
- FM ERDÉSZETI ÉS VADGAZDÁLKODÁSI FŐOSZTÁLY (2016): Nemzeti Erdőstratégia, 2016–2030. Földművelési Minisztérium, Budapest, 63 old.
- HORVÁTH F. (2012): 4.3 A faállomány felmérésének módszere (MVP FAÁSZ). In Módszertani fejlesztések az erdőrezervátumok hosszú távú faállomány-szerkezeti kutatásához. Doktori értekezés, Sopron. 48-60. old.
- HORVÁTH F. (2024): Az újulati és cserjeszint felmérésének ajánlott módszere az ERDŐ+h+a+l+ó mintavételi pontjaiban (MVP ÚJCS). Kézirat, MTA ÖK ÖBI, Vácrátót, ER Archivum
- MERÁN F. (2015): Vadászparadicsom a Vértesben. Vértesi Erdészeti és Faipari Zrt., Csákberény, 295 old.
- NEMZETI AGRÁRGAZDASÁGI KAMARA (2025): Megalakult az Erdészeti Klímaadaptációs Fórum – az egyes tématerületeket kidolgozó munkacsoportok máris megkezdték munkájukat. <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalatas/erdogazdalkodas/109282-megalakult-az-erdeszeti-klimaadaptacios-forum-az-egyes-temateruleteket-kidolgozo-munkacsoportok-maris-megkezdték-munkajukat>, Letöltés: 2026.01.11.
- ÓDOR P. – BÖLÖNI J. – STANDOVÁR T. (2009): Felvételezési protokoll az aljnövényzet mintavételére az erdőrezervátum hosszú távú vizsgálatsorozat (HTV) keretében. Kézirat, Vácrátót, ER Archivum
- PAPP V. (2015): A Juhdöglő-völgy Erdőrezervátum lignikol bazídiumos nagygombáinak taxonómiája és természetvédelmi helyzete. Kézirat – Doktori értekezés, Corvinus Egyetem, Budapest
- REIMOSER F. – PUTMAN R. (2011): Impact of wild ungulates on vegetation: costs and benefits. In PUTMAN et al. Ungulate management in Europe: Problems and Practices. Cambridge University Press
- RIEZING N. (2025): Benszülött fafaj pusztult ki a Vértesben! URL: <https://www.dunaipoly.hu/hu/hir/benszulott-fafaj-pusztult-ki-a-vertesben>
- TURÓS L. (2003): Vadgazdálkodásunk számszerű adatai négy évtized távlatában. Nimród 3: 6–9.
- VADÁSZ G. (1987): A csákberényi erdők múltjából. Erdészettörténeti Közlemények 13-14: 29-41.

MAGYARORSZÁG ERDŐTERÜLETEINEK SÉRÜLÉKENYSÉG VIZSGÁLATA

Vulnerability assessment of the forests of Hungary

ILLÉS GÁBOR¹

¹Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet
illes.gabor@uni-sopron.hu

Kivonat

Vizsgálatunkban hazai erdőállományok klímaváltozással szembeni sérülékenységet kívántuk feltárni, minél nagyobb térbeli és időbeli részletességgel. A vizsgálatokhoz historikus és modellezett jövőbeli klimatikus adatokat, domborzati és talajtani adatokat, valamint a meglévő erdőterületek faállományának leíró adatait használtuk. Az egyes jövőbeli időablakokra előre vetítve vizsgáltuk, hogy a faállomány szerkezete, összetétele mennyire fog illeszkedni a várható termőhelyi adottságokhoz és mennyire drasztikusan kell megváltoztatni az erdőgazdálkodási stratégiát ahhoz, hogy az erdőállományok termőhelyhez való illeszkedését biztosítsuk. Az eredmények azt mutatták, hogy az optimista forgatókönyvek mellett is több százezer ha erdőterületen várható drasztikus termőhelyi átalakulás, amihez óriási erőforrásokat kell mozgósítani a következő évtizedekben ahhoz, hogy minél nagyobb arányban megőrizzessük erdőállományainkat az utókornak.

Abstract

In our study, we aimed to explore the vulnerability of Hungarian forest stands to climate change, with as much spatial and temporal detail as possible. For the studies, we used historical and modeled future climatic data, topographic and soil data, and descriptive data on the stands of existing forest areas. We examined, projecting for each future time window, how well the tree stand structure and composition would fit the expected site conditions and how drastically the forest management strategy would have to be changed in order to ensure that the forest stands fit the future site conditions. The results showed that even under optimistic scenarios, drastic habitat transformation is expected in hundreds of thousands of hectares of forest areas, for which enormous resources will have to be mobilized in the coming decades in order to preserve our forest stands for posterity as much as possible.

Bevezetés

A magyarországi erdőterületek klímaváltozással szembeni sérülékenységet részleteiben és egészében véve is több alkalommal is próbálták feltárni a témával foglalkozó erdészeti és természetvédelmi szakemberek számos, célzott kutatási projektben az elmúlt évtizedekben. Ezek a különböző részletességű vizsgálatok abban konszenzusosak voltak, hogy a hazai erdeink életlehetőségei várhatóan rosszabbodni fognak (Láng et al, 2006, Lakatos és Csóka, 2014, Illés et al, 2014, Somodi et al, 2016, Mátyás et al, 2018), vagy legalábbis nem várható érdemi pozitív elmozdulás a feltételekben. A teljesség igénye nélkül említve ezeket a projekteket kiemelhetjük az alábbiakat:

- VAHAVA projekt
- Erdő és klíma projektek
- Agrárklíma projekt
- AGRATÉR projekt (a NATÉR keretein belül)
- Agrárklíma 2 projekt

Ezek a projektek az alkalmazott klímaváltozási forgatókönyvekben, területi kiterjedésükben, a becslések térbeli felbontásában, valamint az érintett szakterületekben tértek el leginkább egymástól. A kezdeti időszakban inkább országos trendekben és nagyobb időtávokban gondolkodtak, majd a későbbiekben a térbeli felbontás növelése és az időszakok, valamint a forgatókönyvek változatossága jellemezte a vizsgálatokat, egyre több társágzat, szakterület integrálásával. Ezzel együtt növekvő igény jelentkezik a konkrét, operatív tervezési ajánlások iránt.

Az elmúlt években az Agrárminisztérium finanszírozásában az Éghajlatváltozási Cselekvési Tervek keretében mi is vizsgáltuk a magyarországi erdők klímaváltozással szembeni sérülékenységét. A cél az volt, hogy a lehető legpontosabban kimutassuk azokat a területi és minőségi változásokat, amelyeket a klímaváltozás elő fog idézni az erdőterületeinken. A jelenlegi és várható jövőbeli erdőképek összevetése és a változások táji, illetve tájcsoporti szinten való összesítése segítheti az ágazati tervezési munkák sikeres végrehajtását. Sajnálatos módon az elmúlt pár év nagyon fájdalmasan rávilágított arra, hogy körülbelül milyen drasztikus és szinte azonnali hatásokkal és következményekkel kell számolnunk a következő évtizedekben az aszályosság mértékének növekedésével és az újonnan megtelepedő korokozó és károsító fajok elterjedése révén egyre kiterjedtebb erdőkárok miatt. Az erdészeti tájcsoportokra lebontott, prognosztizált területi és minőségi változások igen nagy feladat elé állítják a hazai erdőgazdálkodást az elkövetkező időszakokban.

Anyag és módszer

A projekt során a vizsgálatokhoz klimatikus adatokat, domborzati adatokat, talajtani adatokat, valamint erdőállomány adatokat használtunk fel az alábbiaknak megfelelően.

Klimatikus adatok

A Climate EU adatállomány (Marchi et al, 2020) historikus (1961-1990) adatait, valamint a CMIP5-n alapuló, RCP 4.5 és 8.5 forgatókönyvekre épülő, regionális klímamodellek eredményeit használtuk. Mind a havi hőmérsékleti és csapadék adatokat, mind az elérhető bioklimatikus változók értékeit figyelembe vettük. A historikus időablakon kívül a jelenre vonatkozó 2011-2040 időszakot, valamint a jövőre vonatkozó 2041-2070, és a 2071-2100 időszakokat vizsgáltuk.

Domborzati adatok

A domborzat tekintetében a 30 m-es felbontású EU-DEM adatállományt használtuk (EEA, 2016), melynek származtatott adatait, úgymint a lejtés, kitettség, valamint a levezetett geomorfológiai kategória besorolását alkalmaztuk az elemzésekben.

Talajtani adatok

A talajtani adatok tekintetében az erdőállomány adattár talajtani adatait, valamint a különböző talajtani adatállományokból szerkesztett országos termőhely térképek adatait használtuk fel (Bidló et al, 2003; Pásztor et al, 2018). Ezek közül is leginkább a hidrológiai kategória a talajtípus, a termőréteg mélység, valamint a fizikai talajféleség adatokat. Ezen adatok mellé figyelembe vettük a becsült vízkapacitás értékeket is, vagyis azt a talajban tárolható elméleti vízmennyiséget, amit a talaj a gravitáció ellenében magában tud tartani a pórusaiban. Ezeket az adatokat összehasonlításokra is használtuk, hogy az erdőtervi és a termőhely-térképi adatok eltéréseit vizsgálhassuk.

Erdőállomány adatok

Az erdőállomány adattár 2019 évi fafajsoros adatait használtuk az erdőterületek faállományainak jellemzésére. A legfontosabb adatok a fafaj, a kor, az elegyarány, a jelzőszám, a

fatermési osztály, a vágásérettségi kor, a vágásérettségi mutató, valamint a faállománnyal borított terület voltak. Ezeket az adatokat vettük alapul a terület kimutatásokhoz, illetve a korosztályok jellemzéséhez.

Feldolgozási módszerek

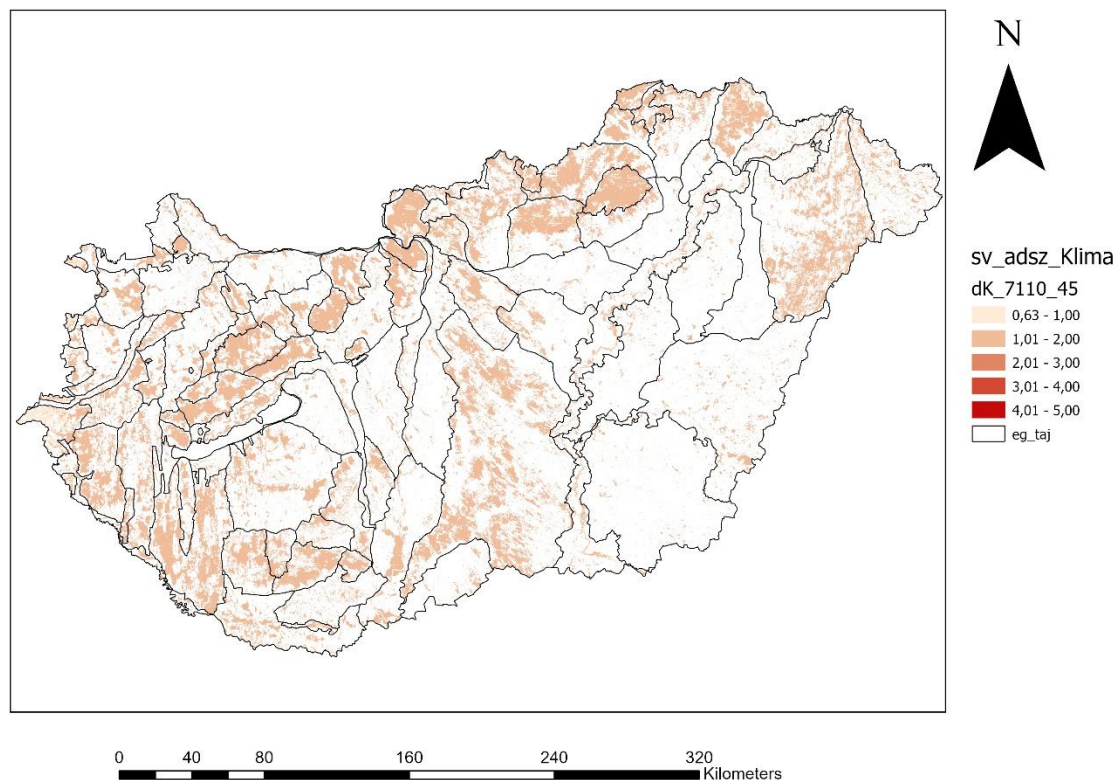
A feldolgozások során a tájcsoportokon belül, erdészeti tájanként vizsgáltuk az erdészeti klímaosztályok eltolódását, mind a jelenben nyilvántartott és a historikus adatokból becsült, mind a jövőre vonatkozóan modellezett, várható értékek mentén. A klímaosztályokból és az egyéb termőhelyi paraméterekből becsültük a termőhelyi adottságok változását és az annak megfelelő, klímaváltozás miatt kikényszerített fafaj-szerkezet változás mértékét azokban az állományokban, amelyek az idő előrehaladtával elérik a vágásérettségi korukat. Ezeket a változásokat a megújított célállomány táblázatok segítségével becsültük. A vágásérettségi kor eléréséig nem számoltunk rendkívüli véghasználatokkal. A változásokat 30 éves periódusokban leképeztük és tovább görgettük az erdőállomány korosztályokat. Periódusonként és összességében is összehasonlítottuk az eredményeket a jelenlegi faállomány-szerkezeti paraméterekkel, hogy láthatóvá váljék a klímaváltozás miatt fellépő erdőállomány-gazdálkodási feladat nagysága és főbb színterei az országon belül.

Eredmények

A klímaváltozás miatti klímaosztály eltolódás mértékét az 1961-1990 közötti bázisidőszakhoz viszonyítva mutatják be az 1-2. ábrák e század végére az optimista és a pesszimista forgatókönyvek szerint.

Az 1-2. ábrák térképeihez az alábbi pár gondolatot érdemes hozzáfűzni:

Habár jelentős, egy egész klímaosztályt elérő, vagy azt meghaladó változást csak a 2041-2070 időszakról vetítenek előre a modellek, az elmúlt 5 év tapasztalata nyilvánvalóvá tette, hogy a klímaváltozás hatásai gyorsabb ütemben alakulhatnak ki, mint azt a modellek prognosztizálták. Az elmúlt évek ezt mutatták, hogy a változások egyes területeken 30 évvel előbb megjelennek, mint ahogy azt a modellek eddig becsülték. Az elmúlt 5 év ugyancsak megmutatta, hogy nagyobb lehet a térbeli differenciálódás a mérések modell adatokhoz hasonlított eltéréseiben, mint a modelleken belüli különbségek. Az elmúlt időszakban az alföldi régióban a mért adatok közelebb álltak a pesszimista forgatókönyv 2041-2070 közé várt értékeihez, mint a jelen időszakra vonatkozó (2011-2040) becslések értékeihez. Ugyanakkor, a domb- és hegyvidéken jobban érvényesültek az optimista forgatókönyv szerinti várakozások. Az értékelésnél fontos szem előtt tartani, hogy globálisan, az enyhébb éghajlatváltozási következmények érvényesüléséhez szükséges lett volna már a kibocsátások drasztikus csökkentése, aminek nyoma sem látszik a vonatkozó adatsorokon (lásd: NOAA, CO₂ trendek). Vagyis a tény adatok a kedvezőtlenebb végkimenetek felé mutató irányt erősítik. Ha ehhez hozzávesszük, hogy a globális éghajlati rendszerek tehetetlensége miatt mindenképpen bekövetkezik a célértékeket meghaladó túllövés, arra kell számítani, hogy ha azonnal le is csökkenne a kibocsátás volumene, a következő 20-30 évben még a jelenlegi tendenciák erősödnének.



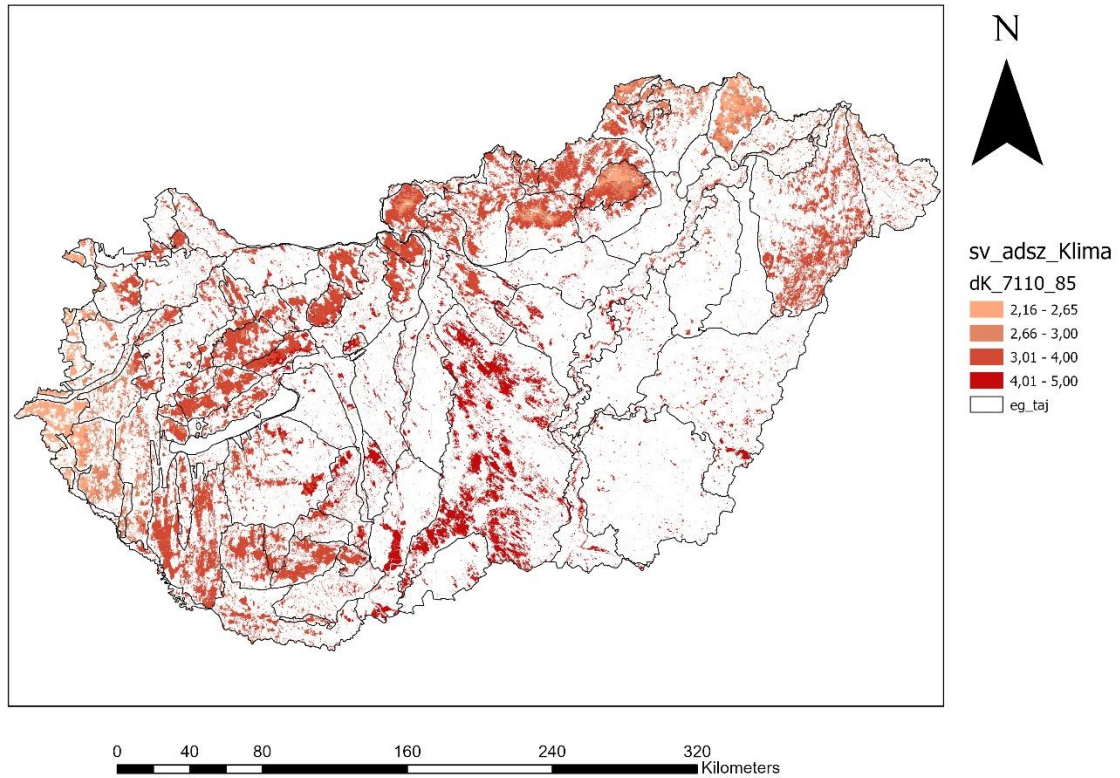
1. ábra: Klíma eltolódás a 21. század végére az optimista várakozások szerint

Ezek figyelembe vételével a térképek alapján arra kell számítani, hogy optimista becsléssel is a teljes erdőterületen bekövetkezik egy klímaosztálynyi változás. Ezen túlmenően a Győr-Pécs vonaltól keletre és a Győr-Miskolc-Nyíregyháza vonaltól délre, kb. 1 millió ha erdőterületen a változás mértéke 1,5-2 klímaosztálynyi lesz. Ezek jelentős része a múltban erdősztyep kategóriába sorolt erdők területét érinti.

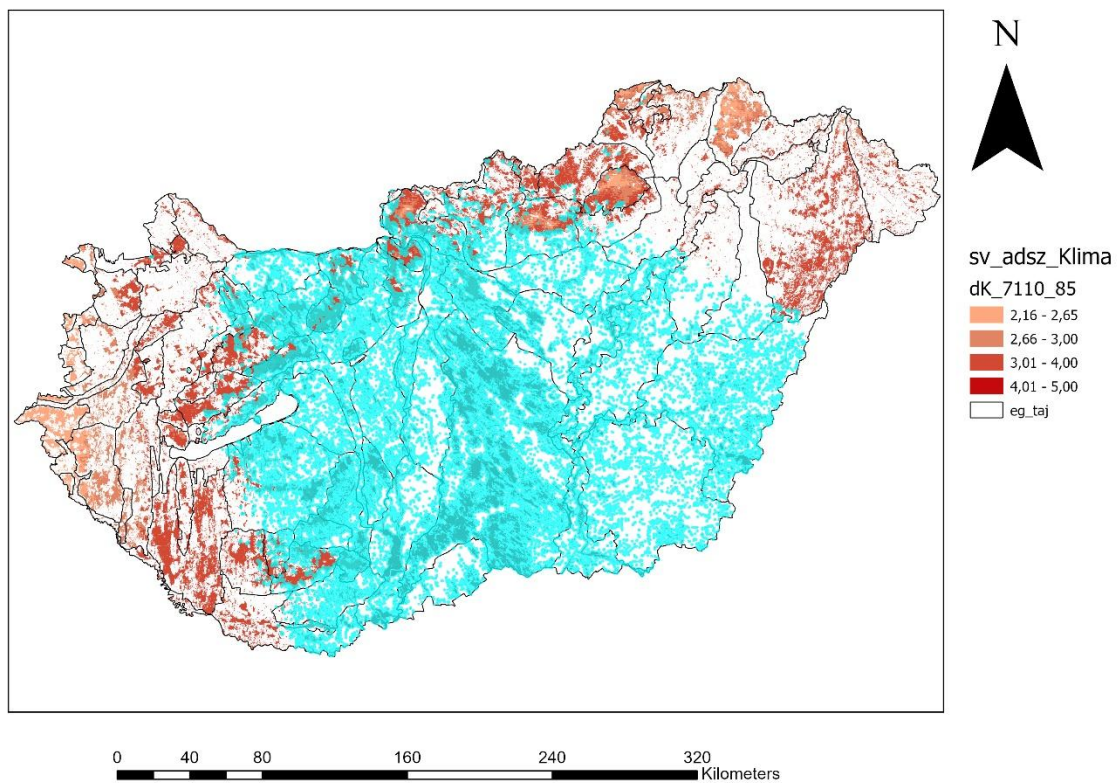
Valamivel több bizonytalansággal, de a dolgok jelenlegi állása mellett - a két forgatókönyv hibridizálásával, igazodva kicsit a megfigyelt, országon belüli nagyobb differenciáltságra, mint a modell környezetben előre jelzett állapotok esetében - az is elképzelhető, hogy már 2070-ig 663 ezer ha erdőterületen a klímaeltolódás mértéke meghaladja majd a két klímaosztályt. Ezt a területet a 3. ábrán a kékeszöld kijelölés mutatja.

A termőhelyi adatok összevetésében vizsgáltuk, hogy az erdősztyep és az az alatti, jelenleg sztyep klímának nevezett kategóriákban milyen megoszlása lesz az erdősztyepi hidrológiai kategóriáknak. Ezt a témakört két peremfeltétel mellett értékeltük.

- Az RCP 4.5 (optimista) forgatókönyv alapján számolunk
- A talajvíztől függő hidrológiai kategóriák nem változnak lényegesen a jelenlegi helyzethez képest (optimista feltevés)



2. ábra: Klíma eltolódás a 21. század végére a pesszimista várakozások szerint

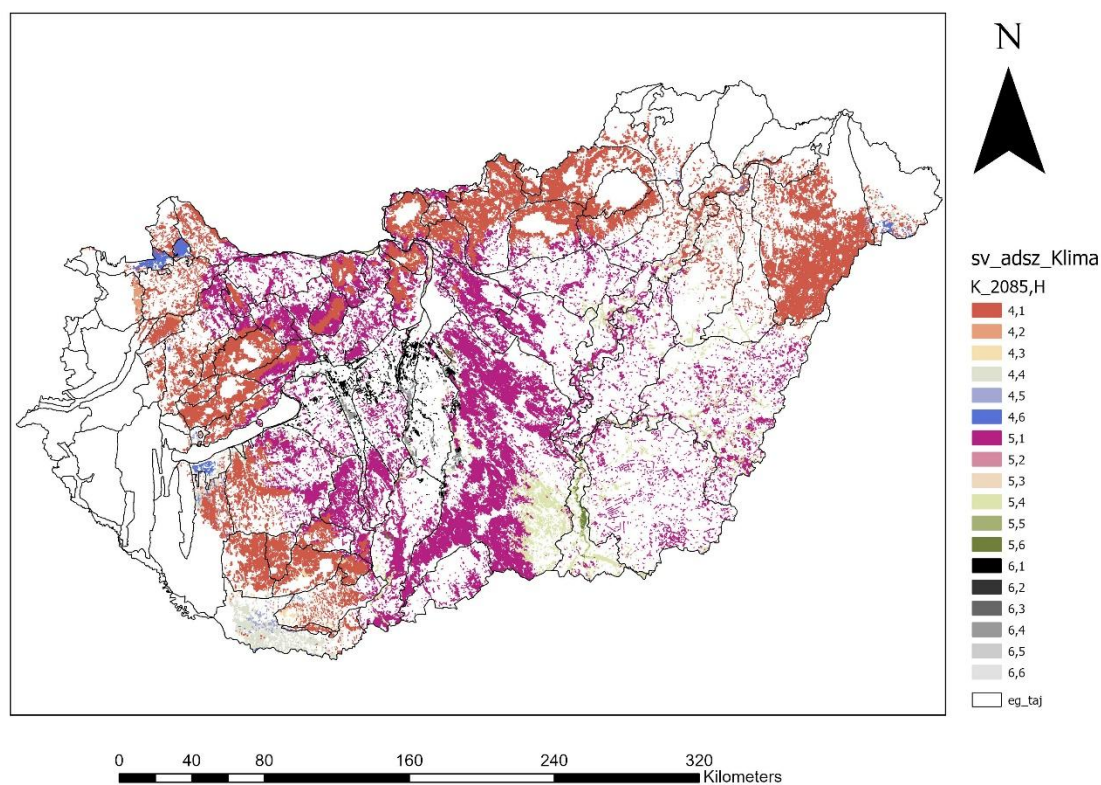


3. ábra: Területek, ahol a klímaosztály eltolódás 2070-ig legalább 2 klímaosztálynyi mértékű lehet (türkiz kijelölés)

Ez utóbbi feltételre azért van szükség, mert nincs olyan modell még, ami megmutatná a talajvíz változását a klímaváltozás függvényében. A 4. ábra térképe mutatja a fenti feltételeknek megfelelő területi elhelyezkedését azon összevont klímaosztály-hidrologia kategória csoportoknak, melyek az alábbiak szerint épülnek fel: “Klímaosztály kódja, hidrologiai kategória kódja”, például a 4,4 azt jelenti, hogy az erdősztyep klímaosztályban lévő időszakos vízhatású hidrologiai kategóriába sorolt terület.

(Kódolás az erdészeti kódjegyzék szerinti logikát követi. Az első szám a klímaosztály, ami vagy 4, vagy 5 annak megfelelően, hogy erdősztyep, vagy sztyep, illetve a 2071-2100 időszakban már felbukkan a sztyep alatti kategória is, ami 6-os számot kapott, és még nincs hivatalos elnevezése. A második szám a hidrologiai kategória: 1 - TVFLEN, 2 - VÁLT, 3 - SZIV, 4 - IDŐSZ, 5 - ÁLL, 6 - FELSZ.)

A 4. ábra alapján optimista esetben is 560 ezer ha bruttó erdőterület lehet többletbízhatástól független hidrologiai adottságok mellett a sztyep klímában a század végére. További 640 ezer ha erdőterület lehet majd az erdősztyep klímaosztályban, és legalább 20 ezer ha ezeknél is rosszabb körülmények között. Csak ez önmagában 1 200 000 ha sérülékeny erdőterületet jelent, amivel a következő évtizedekben dolgozni kell.

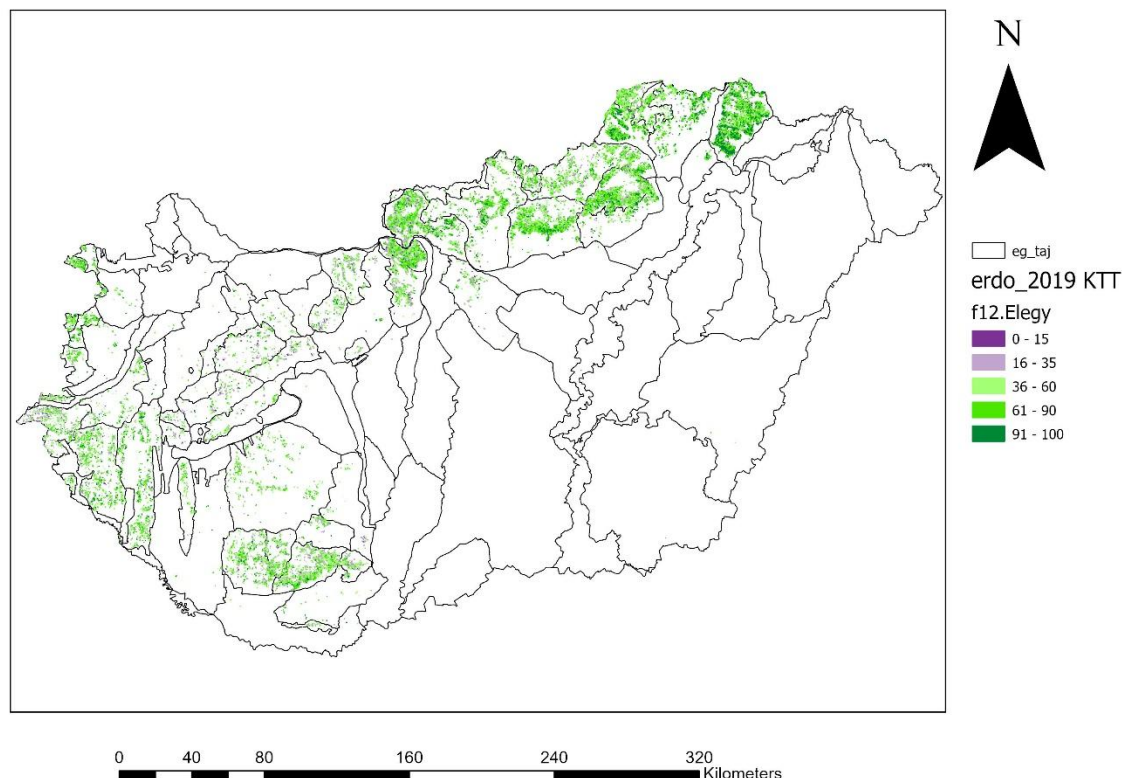


4. ábra: Hidrológiai kategóriák megoszlása a legszárazabb klímaosztályokban az optimista forgatókönyv szerint a 2071-2100 időszakra

Vizsgáltuk, hogy a meghatározó, klímazonális fafajaink elegyarány tekintetében milyen térbeli eloszlást mutatnak, hogy lássuk, hogy milyen megszabott elegyarány kategóriákban mekkora erdőterületünk van. (Ezt a kérdést a 2019-es adattári állapotok szerint tudjuk bemutatni, mert ezek állnak jelenleg a rendelkezésünkre.)

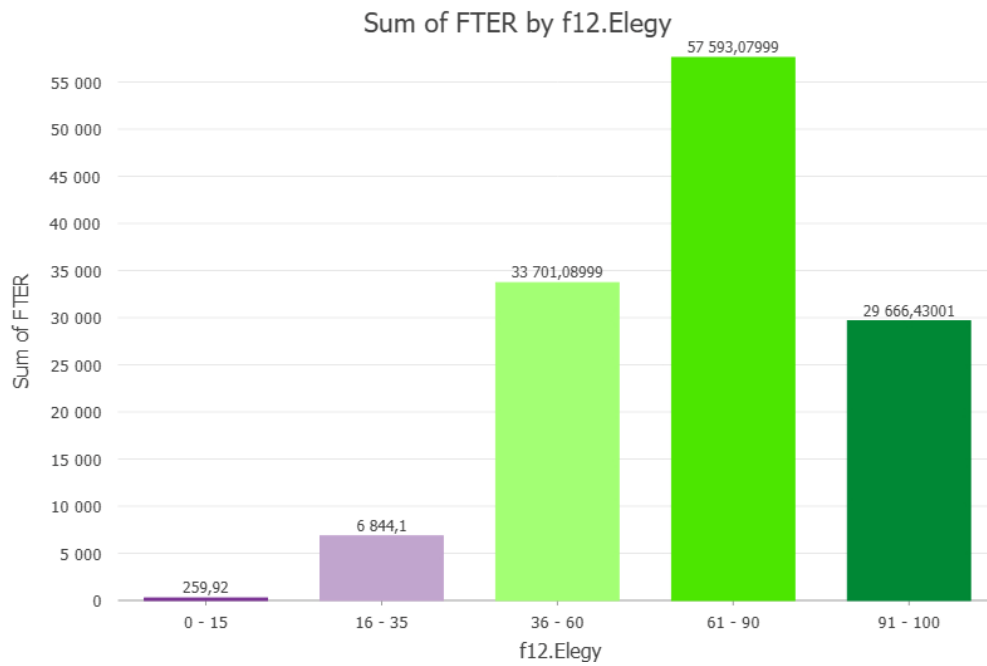
Az 5. ábrán a kocsánytalan tölgy elegyarány kategóriáinak térbeli eloszlását, a 6. ábra oszlopdiagramján pedig ezeknek a területi nagyságát mutatjuk be. A terület adatokat a faállománnyal borított terület alapján számoltuk.

Amint az adatokból és a térképből is látszik a kocsánytalan tölgy az állományok zömében domináns szerepben van jelen - ez nagyjából igaz a többi klímazonális főfafajunkra is -, vagyis esetleges pusztulása esetén jelentős kötelezettségeket és záródáshiányt hagy maga után. E mellett az is látható, hogy a század végére a kocsánytalan tölgy állományok bő egyharmada kikerül a klímazonájából. A klímazonán kívül rekedő állományok az idő előrehaladtával egyre nagyobb erdővédelmi kockázatot jelentenek. E területek térbeli elhelyezkedését a 7. ábra mutatja. A fenti gondolatmenet szerint az összes állományalkotó fafajunkra vonatkozóan lehatároltuk a problémásnak ígérkező területeket, amelyeknél elsődleges fontosságú, hogy a várható klimatikus feltételeknek megfelelő fafajok és/vagy származások kerüljenek a felújításokba legalább olyan mértékben, ami az erdőszerkezet vázát jelentheti.

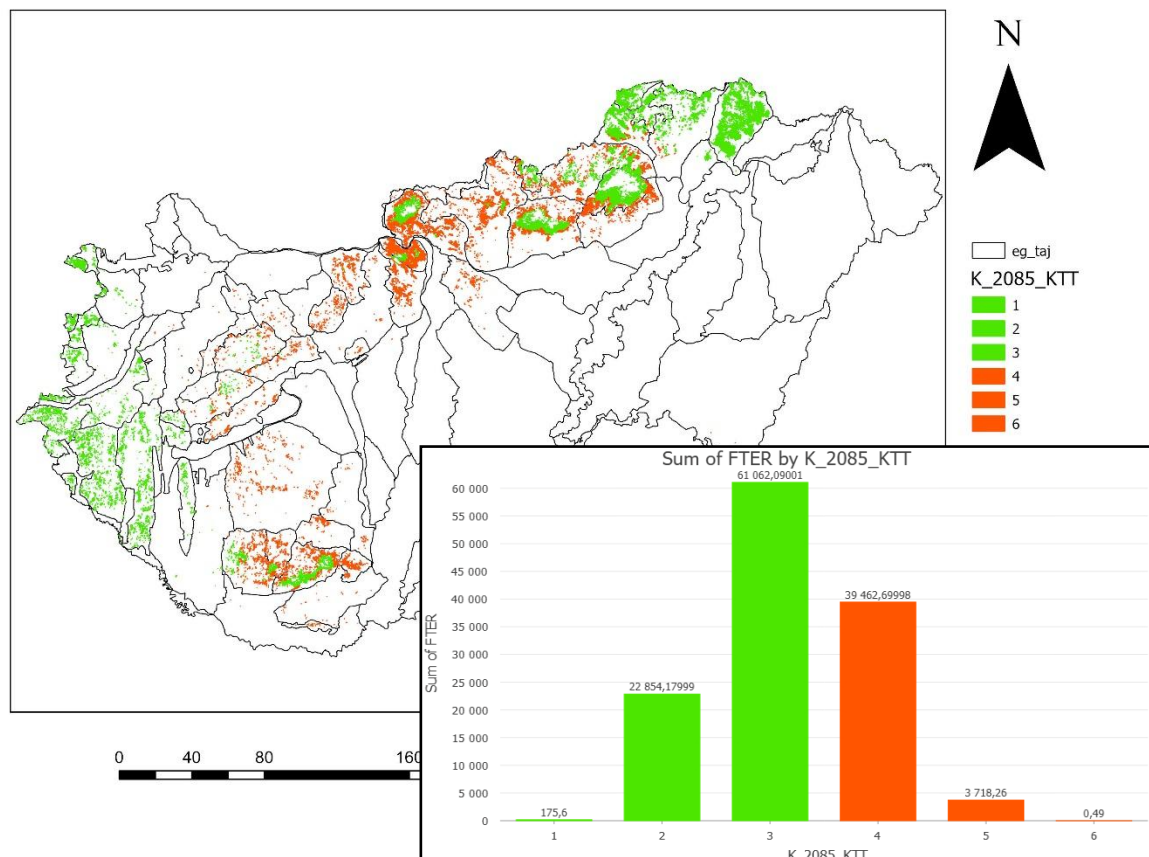


5. ábra: A kocsánytalan tölgy elegyarány kategóriáinak térbeli eloszlása

Ezeket a javaslatokat erdőrészletenként meg is tettük azon esetekben, amelyek a korosztály-szerkezetük alapján nagy valószínűséggel felújításra kerülnek ebben a században.



6. ábra: A kocsánytalan tölgy elegyarány kategóriáinak területi kiterjedése



7. ábra: A kocsánytalan tölgy extra zonálissá váló területei a század végére

Következtetések

Az eredmények azt mutatják, hogy a hazai erdőterületeink jelentős hányada sérülékenynek minősül a klímaváltozással szemben. Ez abból a szempontból nem meglepő, hogy szigorúan véve csupán az erdőterületek fele áll kimondottan erdőtalajon, ami az erdő korábbi létének biztos indikátora. Fontos a lehető legpontosabban meghatározni azokat a területeket, ahol az erdők létét a klímaváltozás alapjaiban fenyegeti. Ahogy 2024-25 években láttuk a határtermőhelyeken, illetve a nem elsődlegesen erdei termőhelyeken nincs tartalék az erdőállományokban. Ezért nagyon fontos, hogy mielőbb elkezdjük, vagy felgyorsítsuk az erdők rezilienciájának erősítését. Ahol lehet, szárazságtűrő fő- és elegyfajok telepítésével növelni célszerű a diverzitást. Ugyanakkor a száraz meleg periódusok növekedésével és súlyosbodásával minden erdőterületen csökkenni fog a fenntartható biomassa mennyisége, vagyis az élőfakészlet. Az alkalmazkodásra rendelkezésre álló források zömét a várhatóan jövőben is fenntartható erdőterületekre kell fordítani.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Agrárminisztérium Éghajlatváltozási Cselekvési Tervek projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- LÁNG I., CSETE L., FARAGÓ T., FÜHRER E., HARKÁNYI K., HARNOS ZS., IJJAS I., JOLÁNKAI M., KOVÁCS M., LIGETVÁRI F., MAJOR GY., SCHWEITZER F., SZÁSZ G., SZIRMAI V., VEISZ O., VIDA G. (2006): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A "VAHAVA" projekt Tudományos Tanácsa. Budapest. p. 66.
- LAKATOS, F. - CSÓKA, GY. (2014): A klímaváltozás hatása az erdők egészségi állapotára. In: Bidló, A - Király, A. - Mátyás, Cs.: Agrárklíma. Az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti- és agrárszektorban. Nyugat-magyarországi Egyetem. Sopron. 118-133.
- ILLÉS G. - KOLLÁR T. - VEPERDI G. - FÜHRER E. (2014): A zalai faállományok magassági növekedésének és fatermésének kapcsolata a termőhelyi tényezőkkel. Erdészettudományi Közlemények, 4(2): 77-89.
- SOMODI, I. - BEDE-FAZEKAS, Á. - LEPESI, N., - CZÚCZ, B. (2016). A klímaváltozás hatása a természetes élőhelyekre. In Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás (pp. 57–63).
- MÁTYÁS, C. - BERKI, I. - BIDLÓ, A. - CSÓKA, G. - CZIMBER, K. - FÜHRER, E. - GÁLOS, B. - GRIBOVSZKI, Z. - ILLÉS, G. - HIRKA, A. - SOMOGYI, Z. (2018). Sustainability of Forest Cover under Climate Change on the Temperate-Continental Xeric Limits. Forests, 9(8), 489. <https://doi.org/10.3390/f9080489>
- MARCHI, M. - CASTELLANOS-ACUÑA, D. - HAMANN, A. - WANG, T - RAY, D - MENZEL, A. (2020). ClimateEU, scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe. Sci Data 7, 428. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00763-0>
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2016). European Digital Elevation Model (EU-DEM). <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/d08852bc-7b5f-4835-a776-08362e2fbf4b>
- PÁSZTOR, L. - LABORCZI, A. - BAKACSI, Z. - SZABÓ, J - ILLÉS, G. (2018). Compilation of a national soil-type map for Hungary by sequential classification methods. Geoderma, Volume 311. 93-108
- Bidló, A. - Kovács, G. - Heil, B. (2003): A magyarországi erdészeti termőhely-osztályozás és ennek problémái. In: Gaál Zoltán (szerk): Földminősítés és földhasználati információ a mezőgazdaság versenyképességének javításáért. Veszprémi Egyetem. Keszthely. 115-124.

A TAEG ZRT. ERDŐTERÜLETEINEK VIZSGÁLATA A KLÍMAVÁLTOZÁS FÉNYÉBEN

Evaluation of the forests of TAEG PLC. with special regard to climate change

ILLÉS GÁBOR¹, FONYÓ TAMÁS¹, FOLCZ ÁDÁM²

¹Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet

²TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság ZRt

illes.gabor@uni-sopron.hu

Kivonat

A TAEG Zrt területe az országos átlagnál jobb klimatikus és termőhelyi adottságokkal rendelkezik az erdészeti tájak leghumidabb csoportjának tagjaként. Célunk az volt, hogy a klímamodellek valamint az erdőkre vonatkozó tényadatok segítségével elemezzük a klímaváltozás várható hatásait és kimeneteit az itteni erdőterületekre nézve. A vizsgálatot a termőhelyi adatok térbeli modellezésével és a hozzájuk illeszthető célállományok meghatározásával végeztük. Az eredményekből területi statisztikákat, -kimutatásokat készítettünk. Mindezt az elemzést kiegészítettük helyi, meteorológiai mérési adatokkal. Az eredmények az előzetesen vártnál nagyobb változások lehetőségét vetítették előre, ami kiemeli a mindenkori mitigációs erőfeszítések jelentőségét. Ezek nélkül nehéz lenne az alkalmazkodási lehetőségeken belül tartani a klímaváltozás hatásait. Ugyanakkor, nagy szükség van részletes alkalmazkodási stratégiák és tervek kimunkálására, amelyek hatékonyan segítik majd az ágazatot az alkalmazkodási folyamat során.

Abstract

The area of TAEG PLC. has more advantageous climatic and environmental conditions than the national average, being a member of the most humid group of forest regions. Our goal was to analyze the expected effects and outcomes of climate change on the forest areas here with the help of climate models and actual data on forests. The study was carried out by spatial modeling of environmental data and determining target stands that could be matched to them. We prepared regional statistics and statements from the results. We supplemented all this analysis with local, meteorological measurement data. The results projected the possibility of greater changes than previously expected, which highlights the importance of current mitigation efforts. Without these, it would be difficult to keep the effects of climate change within the adaptation options. At the same time, there is a great need to develop detailed adaptation strategies and plans that will effectively assist the sector during the adaptation process.

Bevezetés

A klímaváltozás minden erdőgazdálkodó és erdőtulajdonos számára óriási kihívást jelent. A TAEG Zrt számára fontos küldetés, hogy a klímaváltozáshoz való alkalmazkodási stratégiákban és jó gyakorlatokban is az élen járjon. Habár az erdőgazdaság földrajzi fekvése miatt nem a legveszélyeztetettebb helyzetben van, mégis át kell tekinteni a saját erdőterületeinek érintettségét a klímaváltozás kapcsán (FOLCZ, 2024). Ennek érdekében az erdőgazdaság az ERTI-vel való együttműködése keretében 2021-ben két mérőállomást is létesített a területén. Egyet a Júlia-úti vadászháznál, és egyet a Muckon. A mai napig négy teljes év mérési adatai állnak rendelkezésünkre felvázolva a jelenlegi meteorológiai helyzetet az erdőgazdaság egy-egy jellemző területén. Továbbá, elvégeztük az erdőterületekre vonatkozó klímaváltozási hatásbecslést, amivel a jövőben szükséges alkalmazkodási stratégiák kialakítását meg lehet

kezdeni. Jelen tanulmányban az eddigi négy év meteorológiai méréseinek összefoglalását és az erdőterület egészére vonatkozó hatásbecslések eredményeit foglaltuk össze.

Anyag és módszer

A munkához egyfelől felhasználtuk a saját mérési adatainkat, amelyeket a bevezetőben említett helyszínekre telepített mérőállomások szolgáltatnak. A felhasznált adatok a 10 percenkénti léghőmérséklet adatok, a csapadék adatok, a páratartalom adatok, valamint egyes származtatott adatok voltak, úgymint a légköri szárazság mértéke, valamint a potenciális párolgás értéke. A többletbizhatástól független termőhelyeken a potenciális párolgás és a csapadékösszeg adatok különbsége direktben utal a vízellátottság megfelelő, vagy hiányos voltára, amit a légköri szárazság, aszály jelenléte is visszaigazol, ha deficites a vízmérlegünk.

A direkt mérési adatok mellett az erdőrészletek leíró adatait, termőhelyi adatokat és a klíma-modellek adatait használtuk fel az erdőterület egészét érintő előrejelzések kialakításához.

Klimatikus adatok

A Climate EU adatállomány (MARCHI ET AL, 2020) historikus (1961-1990) adatait, valamint a CMIP5-n alapuló, RCP 4.5 és 8.5 forgatókönyvekre épülő, regionális klíma-modellek eredményeit használtuk. Mind a havi hőmérsékleti és csapadék adatokat, mind az elérhető bioklimatikus változók értékeit figyelembe vettük. A historikus időablakon kívül a jelenre vonatkozó 2011-2040 időszakot, valamint a jövőre vonatkozó 2041-2070, és a 2071-2100 időszakokat vizsgáltuk.

Domborzati adatok

A domborzat tekintetében a 30 m-es felbontású EU-DEM adatállományt használtuk (EEA, 2016), melynek származtatott adatait, úgymint a lejtés, kiettség, valamint a levezetett geomorfológiai kategória besorolását alkalmaztuk az elemzésekben.

Talajtani adatok

A talajtani adatok tekintetében az erdőállomány adattár talajtani adatait, valamint a különböző talajtani adatállományokból szerkesztett országos termőhely térképek adatait használtuk fel (PÁSZTOR ET AL, 2018). Ezek közül is leginkább a hidrológiai kategória a talajtípus, a termőréteg mélység, valamint a fizikai talajféleség adatokat. Ezen adatok mellé figyelembe vettük a becsült vízkapacitás értékeket is, vagyis azt a talajban tárolható elméleti vízmennyiséget, amit a talaj a gravitáció ellenében magában tud tartani a pórusaiban. Ezeket az adatokat összehasonlításokra is használtuk, hogy az erdőtervi és a termőhely-térképi adatok eltéréseit vizsgálhassuk.

Erdőállomány adatok

Az erdőállomány adattár 2019 évi fafajсорos adatait használtuk az erdőterületek faállományainak jellemzésére. A legfontosabb adatok a fafaj, a kor, az elegyarány, a jelzőszám, a fatermési osztály, a vágásérettségi kor, a vágásérettségi mutató, valamint a faállománnyal borított terület voltak. Ezeket az adatokat vettük alapul a terület kimutatásokhoz, illetve a korosztályok jellemzéséhez.

Eredmények

A meteorológiai mérési adatok alapján meghatároztuk az elmúlt négy évre jellemző, átlagos értékeket, mint amilyen az évi átlaghőmérséklet, és az éves csapadékösszeg, valamint a jellemző párolgási kényszer értéke. Ugyancsak számoltunk erdészeti ariditási indexet is tájékoztató jelleggel, mivel itt még messze vagyunk a 30 éves átlagok meghatározásától. Ezekből az adatokból a potenciális párolgás és az éves csapadékösszeg adatokat az 1-2. táblázatok

tartalmazzák. A két táblázat nagyon szemléletesen mutatja, hogy nem ritkák a 2-300 milliméteres éves csapadékhiányok ahhoz képest, amennyi a potenciális párolgás fedezetéül szolgálna. Jellemzően sokkal kevesebb csapadék érkezik a térségbe, mint amennyire szüksége lenne a vegetációnak. Ennek tanulsága, hogy a klímaváltozás most is zajlik a Sopron környéki erdőkben is és ha még nincs is látványos hatása, előbb utóbb az erdőállományok és a termőhely pufferkapacitása egyaránt kimerül, amit szerencsétlen esetben összeomlászerű kárláncolatok kialakulása fog jelezni. Tetézi a problémát, hogy habár a legmagasabb hőmérsékletek nyáron figyelhetők meg, az elmúlt években a csapadékmaximumok inkább tavasszal és télen jelentek meg a területeken, és a fő felhasználási időben kevesebb csapadék hullott. Sajnos a téli csapadék általában nem hó formájában hullott az elmúlt években, hanem eső formájában és az is általában a tél elejére tehető időszakban. A hómentes telek sajnos kedvezőtlenül befolyásolták a talaj víztelítődését, mert a tél eleji esők egy részre a felszíni lefolyások miatt nem hasznosult és tárolódott a talajban. A tavaszi csapadékhullámok megjelenése ugyan kedvezően hangzik, de sajnos a tapasztalatok szerint ezek inkább a tavasz végén jelentkező esőzések. A száraz tél vége miatt a vegetációs időszak kezdetekor gyakran igen száraz, talajállapotok alakultak ki. Ezek mértéke több egymást követő évben olyan nagy volt, hogy az erdőfelújítások és a mesterséges erdősítések megmaradását fenyegette és egyes problémás erdőrészeknél a tavaszi öntözés szükségessége is felmerült. Sajnos voltak olyan erdőfelújítási területek, ahol gyakorlatilag porba kellett ültetni a csemetéket vagy vetni a makkot, a szezonális kényszer hatására. Ilyene helyeken várni kellett, hogy megérkezik-e egy két héten belül az eső, vagy öntözni kell.

1. Táblázat: A mért meteorológiai jellemzők átlagos értékei 2022-2025 (Júlia-úti állomás)

Év	P _{szum} (mm)	Pot. párolgás (mm)
2022	501	865
2023	788	722
2024	599	838
2025	522	775

2. Táblázat: A mért meteorológiai jellemzők átlagos értékei 2022-2025 (mucki állomás)

Év	P _{szum} (mm)	Pot. párolgás (mm)
2022	644	1003
2023	921	942
2024	524	987
2025	791	883

A teljes erdőterületre vonatkozó klímaváltozási előrejelzések pesszimista becslések alapján készült eredményeinek összefoglalását a 3. táblázat mutatja.

3. Táblázat: A TAEG erdőterületeinek főbb célállomány opciói 2071-2100 között a pesszimista forgatókönyv alapján

Célállomány	Síkvidéki Erdészet	Célállomány	Soproni Erdészet
Várhatóan nem erdősíthető	6029,1	Várhatóan nem erdősíthető	1608,88
CS-k, KTT-gy, MAT-j	1205,17	KTT-k, CS-k	1409,65
CS-gy, KTT-gy, MAT-k	775,16	CS-gy, MOT-gy	977,75
CS-gy, A-gy, MAT-k	419,31	EF-k, KTT-gy, CS-k	715,18
CS-gy, NYI-k	248,16	CS-gy, A-gy, MAT-k	265,05
CS-gy, NYI-gy	246,58	VK-gy, MOT-gy	215,28
A-gy	222,55	KTT-j, CS-j	153,91
CS-gy	133,02	CS-gy, KTT-gy	135,44
CS-k-j, MAT-j	117,94	CS-gy, KTT-gy, MAT-k	110,3
A teljes terület %-ában	95%		86%

A TAEG ZRt területeinek vizsgálata nagyon jól szemlélteti, hogy milyen nagy jelentősége van annak, hogy melyik klímaváltozási forgatókönyv valósul meg a 21. század folyamán. Míg a 3. táblázatban látható módon a pesszimista forgatókönyv a Síkvidéki erdészet területének túlnyomó részét az erdőgazdálkodásra alkalmatlan állapotba taszíthatja és bő 1600 ha-t éríthet az alkalmatlanná váló területek növekedése a hegyvidéken is, addig az optimista forgatókönyv esetében ez a veszély “csak” a Síkvidéki Erdészet kezelésében érintene bő 800 ha-t (terjedelmi okokból nem közölve részleteiben). Ami a TAEG esetében is igen jelentős jövőbeni feladatot jelent, hogy a jelenlegi üde, lombos és fenyő elegyes erdőképekből a területek nagy valószínűséggel száraz, lombos erdőtípusokba váltanak át, és ezt az átmenetet az erdőborítás fenntartása mellett fokozatosan, de ütemes beavatkozásokkal kell, illetve lehet biztosítani.

Következtetések

A vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodásra a legjobb természeti adottságokkal bíró erdőgazdálkodóknak is nagy hangsúlyt kell fektetniük. Az ökológiai változások amplitúdója a legstabilabbnak gondolt erdőállományokat is kibillentheti a jelenlegi egészségi állapotukból. A jelenlegi állapotok felmérése és a várható hatások vizsgálata segítheti az erdőgazdálkodót a szükséges beavatkozások tervezésében. A közeljövő tervei között szerepel, hogy részletes alkalmazkodási stratégiát készítsünk a minél zökkenőmentesebb gazdálkodás alapjainak megóvása érdekében.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TAEG Zrt támogatásával és közreműködésével valósult meg.

Irodalomjegyzék

- FOLCZ, Á. (2024): Klímaváltozás elleni küzdelem a TAEG ZRt-nél. Erdészeti Lapok 159: 11. p. 488
- MARCHI, M. - CASTELLANOS-ACUÑA, D. - HAMANN, A. - WANG, T - RAY, D - MENZEL, A. (2020). ClimateEU, scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe. Sci Data 7, 428. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00763-0>
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2016). European Digital Elevation Model (EU-DEM). <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/d08852bc-7b5f-4835-a776-08362e2fbf4b>
- PÁSZTOR, L. - LABORCZI, A. - BAKACSI, Z. - SZABÓ, J - ILLÉS, G. (2018). Compilation of a national soil-type map for Hungary by sequential classification methods. Geoderma, Volume 311. 93-108

A HAZAI ARBORÉTUM-SZABÁLYOZÁS ELLENTMONDÁSAI

Inconsistencies in Hungary's Arboretum Regulations

IZSA DOROTTYA, FRANK NORBERT

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdő- és Természeti Erőforrás-gazdálkodási Intézet

IzsaD22@student.uni-sopron.hu

Kivonat

A kutatás célja a magyarországi arborétumokra vonatkozó jogszabályok ellentmondásainak és hiányosságainak feltárása, különös tekintettel a fogalmi tisztázatlanságokra és gyakorlati következményeikre. A 19/2011. (III. 16.) VM rendelet szerinti arborétumjegyzék több, nem klasszikus értelemben vett arborétumot (*park, kert, kastélykert*) tartalmaz, ami kérdéseket vet fel a jegyzék hatóköre és az „arborétum” fogalma kapcsán. Továbbá a jelenleg is hatályos erdőtörvény ugyan felhatalmazza az agrárminisztert a jegyzék megállapítására, de kizárja az arborétumokat hatálya alól, ez alacsony szabályozottságot és egységes jogi keret hiányát eredményezi. A kutatás célja vizsgálni, hogy szükséges-e egységesebb jogi szabályozás és intézményi háttér kialakítása az arborétumok fogalmi és normatív rendezésére és ez milyen eszközökkel lenne megvalósítható.

Abstract

The aim of this research is to explore the contradictions and shortcomings in the Hungarian legislation concerning arboreta, with special attention to the lack of clarity in definitions and their practical consequences. The arboretum register established by Decree 19/2011 (III. 16.) of the Ministry of Rural Development includes several sites that are not classical arboreta (such as *parks, gardens, and castle gardens*), raising questions about the scope of the register and the definition of “arboretum.” In addition, although the currently valid Forest Act authorises the Minister of Agriculture to establish the register, it excludes arboreta from its scope, resulting in low regulation and the lack of a unified legal framework. The research aims to examine whether a more consistent legal regulation and institutional background are needed to clarify and standardise the concept and legal status of arboreta, and to identify possible methods for achieving this.

Bevezetés

Az emberben évszázadok óta él az a természetes törekvés, hogy gondolatait környezetével összhangban rendezett és következetes rendszerbe foglalja. Az emberi ismeret keretet ad mindannak, ami körülvesz bennünket. Talán éppen ezen elv alapján keríti be az ember a növényvilágunk egy részét és nevezi el azt „arborétumnak”. Az arborétumok és egyéb gyűjteményes kertek többfunkciós intézmények, egyszerre szolgálnak ki tudományos kutatásokat, faj- és fajta nemesítési és megőrzési kísérleteket, segítik az ezen a területen tanulók és/vagy dolgozók szakmai fejlődését, vagy éppen környezetet és alkalmat biztosítanak a kapcsolódásra és feltöltődésre.

A most bemutatott, jelenleg is zajló kutatás célja, hogy felfedje az arborétumok jogi szabályozásának ellentmondásait és hiányosságait, vizsgálja ezek egymásra való hatását és ahol erre lehetőség nyílik, jogi megoldásokat fogalmazzon meg a kérdések tisztázására.

Anyag és módszer

A kutatás alapját a hatályos jogszabályok online adatbázisokban (Nemzeti Jogszabálytár, EU-jogszabályok) elérhető szövegei képezték, amelyek tartalmi elemzéséből és

összehasonlításából származnak a megállapítások. A kérdéskört a releváns hatályos jogszabályok – elsősorban az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról szóló 2009. évi XXXVII. törvény (a továbbiakban: erdőtörvény) és a természet védelméről szóló 1996. évi LIII. törvény (a továbbiakban: természetvédelmi törvény) –, valamint ezekhez kapcsolódó rendeletek irányából közelítettem meg. A későbbiekben egy online kérdőív kidolgozása is tervben van, melynek eredményei remélhetőleg alátámasztják vagy megcáfolják a fogalomtisztázás szükségességét.

Eredmények

A jogszabályi háttér vizsgálata során több kérdés merült fel, melyeket mélyebben is tanulmányozva egyre bonyolultabb problémarendszer körvonalazódott ki. A könnyebb megértés érdekében egy általam választott logikai sorrend mentén, bekezdésekre bontva ismertetem ezeket az egymásra épülő jogi hiányosságokat és dilemmákat.

A kutatás során világossá vált, hogy a kérdéskör fundamentális nehézségei a tisztázatlan jogi fogalmakból eredhetnek. Az *arborétum*, a *botanikus kert*, *fűvészkert* vagy *kastélykert* szavak sokunk számára, – ahogy számomra is – egy közel hasonló funkcióval bíró, eltérő kiterjedésű többnyire fák, cserjék, illetve egyéb növények által borított intézményt takar. Erre a paraméterek nélküli, megfoghatatlan hangulat- és elképzelés-halmazra nem lehet jogszabály-rendszert építeni. Alapvető kérdéseket vetnek fel az intézmények közötti különbségek (ha vannak), tekintettel a szerkezetre, méretre, elhelyezkedésre egyaránt. Az erdőtörvény 5. § 1. pontja szerint: „*arborétum: az e törvény végrehajtására kiadott jogszabályban meghatározott, tudományos ismeretszerzés céljából fenntartott élőfagyűjtemény.*”. A botanikus kertek és egyéb hasonló, vagy azonos céllal működtetett intézmények fogalma nem kerül tisztázásra ebben a törvényben, sem a természetvédelmi törvényben sem. Itt a védetté nyilvánítási eljárás szabályai között, a 22. § d) pontjában említi együtt az arborétumot és a botanikus kertet: „*Kiemelt oltalmuk biztosítása érdekében védetté kell nyilvánítani a tudományos, kulturális, esztétikai, oktatási, gazdasági és más közérdekből, valamint a biológiai sokféleség megőrzése céljából arra érdemes növénytelepítéseket, így különösen parkokat, arborétumokat, történelmi vagy botanikus kerteket és egyes növényeket, növénycsoportokat.*”

A jelenleg is érvényben lévő erdőtörvény első fejezetben leszögezi, hogy hatálya nem terjed ki az arborétumokra: „*E törvény hatálya nem terjed ki a fával, faállománnyal borított területek közül: a) az arborétumra;*”, majd a 112. § (5) bekezdésében felhatalmazást ad a mindenkor erdőgazdálkodásért felelős miniszternek, hogy meghatározza az arborétumok jegyzékét: „*Felhatalmazást kap a miniszter, hogy a természetvédelemért felelős miniszter egyetértésével kiadott rendeletben állapítsa meg az arborétumok jegyzékét.*”. Ez az ellentmondás egyik oka lehet, az arborétumok alulszabályozottságának.

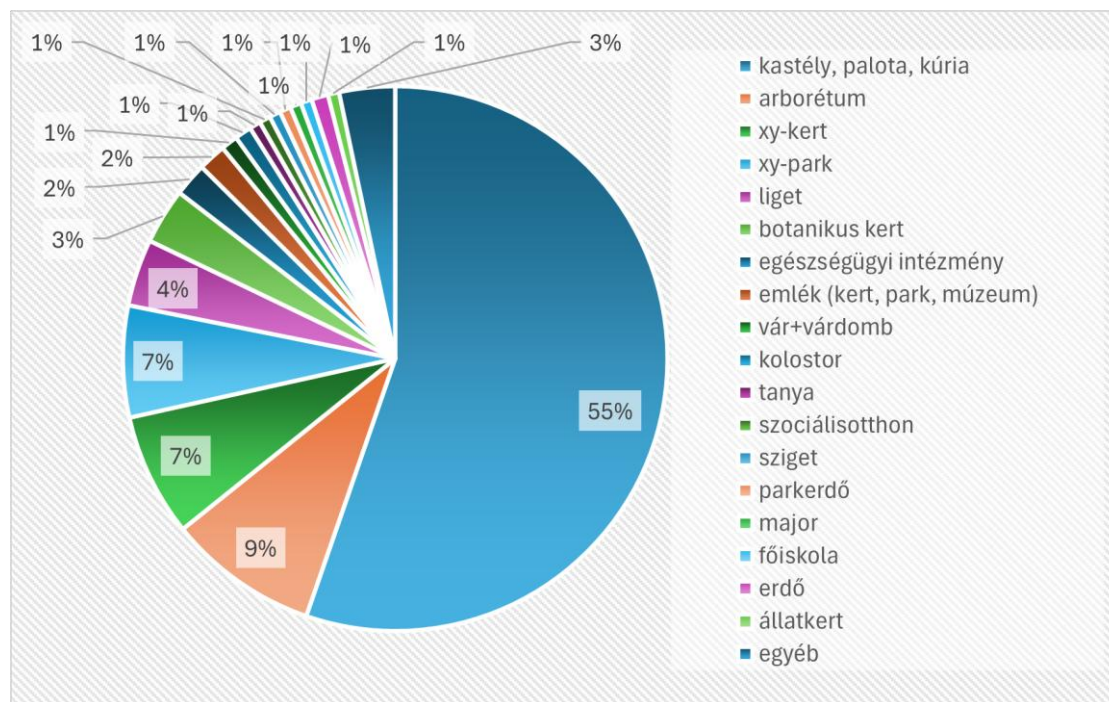
A kutatás jelen szakaszában a legnagyobb hangsúly az arborétumok jegyzékéről szóló 19/2011. (III. 16.) VM rendeletre helyeződik. A jegyzék dilemmája szoros összefüggést mutat a témakörhöz kapcsolódó fogalmak tisztázatlanságával. A jegyzék címéből arra következtethetünk, hogy Magyarország arborétumait teljes egészében, és – a specifikus cím választásból következően csak azokat – foglalja magában. A valóságban ettől nagyon eltér a jegyzék tartalma, például az erdészeti arborétumok, mint a Budakeszi Galambos Gáspár Erdészeti Arborétum vagy a Gödöllői Erdészeti Arborétum (Gödöllői Arbo Park) nem szerepel a felsorolásban, számos nem „*arborétum*” megnevezésű létesítmény ezzel szemben igen.

A jegyzékben összesen 302 ingatlan-nyilvántartási helyrajzi számmal és megnevezéssel el látott „arborétum” található, amelyeket megnevezéseik alapján egyéni megítélés szerint csoportosítottam. Ebben az esetben csoportnak tekinthető a legalább kettő elemet számláló

elnevezés. Az elkülönített csoportok és azokba tartozó elemek száma (csökkenő sorrendben) az alábbi táblázatban olvasható:

1. Táblázat: Az arborétumjegyzékben szereplő elemek száma egyéni kategorizálás szerint

	Kategória neve	Darabszám
1.	kastély, palota, kúria	167
2.	arborétum	27
3.	xy-kert	22
4.	xy-park	20
5.	liget	12
6.	botanikus kert	10
7.	egészségügyi intézmény	6
8.	emlék (kert, park, múzeum)	5
9.	vár+ várdomb	3
10.	kolostor	3
11.	tanya	2
12.	szociálisotthon	2
13.	sziget	2
14.	parkerdő	2
15.	major	2
16.	főiskola	2
17.	erdő	3
18.	állatkert	2
19.	egyéb	10
	ÖSSZESEN	302



1. ábra: Az arborétumok jegyzékében szereplő megnevezések százalékos megoszlása

A diagramm nagyon jól szemlélteti az elnevezés kérdésének problémáját. A cím alig fedi a jegyzék tartalmát (vagy újabb kérdéseket vet fel az arborétum fogalmkörét illetően). A jegyzékben szereplő elemek több mint fele (167 db; 55%) kastélyhoz, kúriához vagy palotához tartozó kert, vagy park. A második legnagyobb százalékkal, az arborétum végződésű intézmények bírnak, de ez eltölpül a korábbihoz képest, összesen 9 százalékkal képviselteti magát. Fontos megfigyelni továbbá azt is, hogy a 19 kategóriának több mint fele (52%, összesen 10 csoport) mindössze 1%-os aránnyal van jelen az eloszlásban. Az összes 19 darab csoportból összesen 6 darab az, ami legalább 10 elemet foglal magába. Százalékosan ez a kategóriáknak közel 32%-a. Továbbra is észrevehető, hogy a kastélyokhoz, kúriákhoz tartozó kertek és parkok vannak messze a legmagasabb arányban.

A szabályozás kérdéséről szólva, újabb nehézségek merülnek fel. A jegyzékben szereplő intézmények vagy helyrajzszám-halmazok (hiszen nem minden esetben intézményesítettek a jegyzékben felsoroltak) bizonyos tulajdonságaik alapján azonosnak, vagy legalábbis hasonlónak tekinthetők. Ez következik abból a tényből, hogy egy azonos rendelet határozza meg létezésüket, arborétum mivoltukat. Amennyiben pedig valóban rendelkeznek közös tulajdonságokkal, úgy az egységesség jegyében szükség volna közös kezelési előírásokat is meghatározni, azonban a kutatás során világossá vált, hogy erre nincsen sem szabályozás, sem bevett gyakorlat.

A szabályozás kialakításának – vagy nem-kialakításának – kérdése szorosan összefügg az azt meghatározó személlyel vagy intézménnyel. Az arborétumokra vonatkozó irányelvek és/vagy megkötések nem léteznek, az élőfagyűjtemények egységes jogszabályi kontroll nélkül működnek. A normatív háttér egyedül maga a jelenleg is hatályos erdőtörvényünk, melyben az erdőgazdálkodásért felelős miniszter – a természetvédelemért felelős miniszterrel egyetértve (jelenleg egy személyben az agrárminiszter) – felhatalmazást kap arra, hogy rendeletben megállapítsa az arborétumok jegyzékét. További rendelkezések hiányában az intézmények mostanra nagyon eltérő vezérelvek mentén kialakított rendszerben működnek, aminek alapjait elsősorban a növénygyűjtemény paraméterei határozzák meg. A kérdés,

hogy amennyiben a továbbiakban szükség lenne valamiféle egységesítésre és egységes szabályozásra, úgy a normatív szabályozás kialakítása melyik terület (erdőgazdálkodás vagy természetvédelem) feladata lenne.

Következtetések

A kutatás feltárta a magyar arborétum-szabályozás alapvető ellentmondásait, amelyek elsősorban a fogalmi bizonytalanságokból és a normatív paradoxonokból fakadnak. Az arborétum definíciója (Erdőtörvény 5. §) azt csak élőfagyűjteményként határozza meg anélkül, hogy egyéb (méretbeli vagy faj-összetételi) paraméterekre utalna. Ezzel szemben a 19/2011. (III. 16.) VM rendelet jegyzéke vegyes megnevezésű helyeket sorol fel (*1. táblázat*) miközben ismert erdészeti gyűjteményeket kihagy. Az egységes kezelési előírások hiánya, az erdőtörvény hatályának kérdése és a jegyzékszabályozás paradoxona alapvető alulszabályozottságot eredményez.

A jogi-fogalmi tisztázás és egységes szabályozás lehetséges megoldásai közé tartozik az arborétumok rendelet-szintű definiálása meghatározott paraméterek alapján (pl.: fafajok száma, biológiai/földrajzi származása, tudományos funkciói), valamint ezt figyelembe véve a jegyzék újragondolása a címválasztás és a tartalom tekintetében, illetve a szabályozásra, üzemeltetésre vonatkozó minimumkövetelmények meghatározása, infrastrukturális (pl.: kerítés, éjszakai világítás, kiépített útvonalak) és gazdasági (pl.: belépőjegyek) szempontból egyaránt.

Ahhoz, hogy az arborétumok a jövőben is betölthessék széleskörű funkcióikat, a fentiekben megfogalmazottak alapján megalapozottnak tűnhet egységes jogszabályi keretet adni növénygyűjteményeinknek.

Irodalomjegyzék

AZ ERDŐRŐL, AZ ERDŐ VÉDELMEÉRŐL ÉS AZ ERDŐGAZDÁLKODÁSRÓL SZÓLÓ 2009. ÉVI XXXVII. TÖRVÉNY (Nemzeti Jogszabálytár – <https://njt.hu/jogszabaly/2009-37-00-00>)

A TERMÉSZET VÉDELMEÉRŐL SZÓLÓ 1996. ÉVI LIII. TÖRVÉNY (Nemzeti Jogszabálytár – <https://njt.hu/jogszabaly/1996-53-00-00>)

AZ ARBORÉTUMOK JEGYZÉKÉRŐL SZÓLÓ 19/2011. (III. 16.) VM RENDELET (Nemzeti Jogszabálytár – <https://njt.hu/jogszabaly/2011-19-20-2Y>)

LIDAR PONTFELHŐ FELDOLGOZÓ SZOFTVER KÖRNYEZET KIALAKÍTÁSA HPC INFRASTRUKTÚRÁN

Development of a LiDAR Point Cloud Processing Software Environment
on HPC Infrastructure

KALICZ PÉTER¹, BROLLY GÁBOR¹

¹Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet
kalicz.peter@uni-sopron.hu

Kivonat

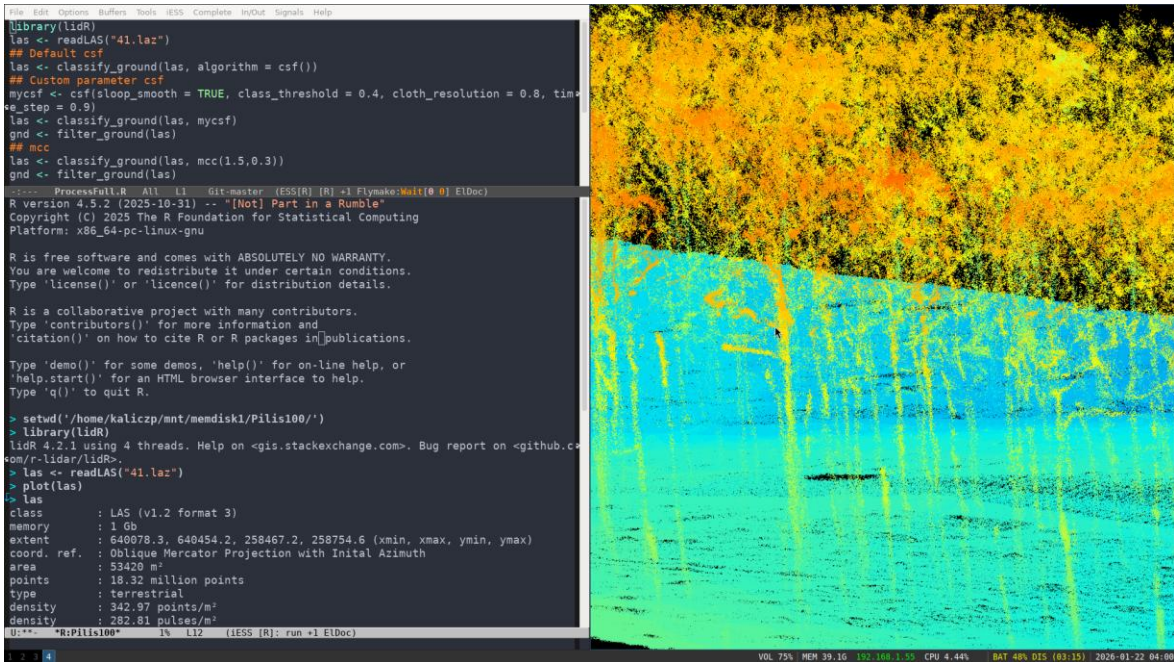
A BorderEye projekt keretében olyan nagy teljesítményű, skálázható és újrahasznosítható LiDAR-feldolgozási környezet kialakítása valósult meg, amely lehetővé teszi nagyobb területű, erdészeti célú légerszkenneres pontfelhők hatékony feldolgozását szuperszámítógépes (HPC) infrastruktúrán. A magyar akadémiai közösség számára elérhető Komondor HPC-n telepített és konfigurált R-alapú térinformatikai környezet sikeresen integrálja az erdészeti alkalmazásokra kifejlesztett lidR csomagot, valamint a kapcsolódó térinformatikai könyvtárakat (GDAL, PROJ, GEOS). A tesztelt és dokumentált környezet lehetőséget biztosít a párhuzamosított eljárások teljesítményelőnyének vizsgálatára a pontfelhők feldolgozásában, különösen a digitális felszín- és terepmodellek előállításában, illetve az erdőgazdálkodás számára releváns algoritmusok paraméterezése során.

Abstract

Within the framework of the BorderEye project, a high-performance, scalable, and reusable LiDAR processing environment was developed to support the efficient processing of large-area airborne laser scanning point clouds for forestry applications on high-performance computing (HPC) infrastructure. An R-based geospatial processing environment was installed and configured on the Komondor supercomputer, which is available to the Hungarian academic community. The environment successfully integrates the lidR package specifically designed for forestry-oriented LiDAR analyses, along with essential geospatial libraries, including GDAL, PROJ, and GEOS. The tested and documented processing environment enables the evaluation of performance gains achieved through parallelized workflows in point cloud processing, with particular emphasis on the generation of digital surface and terrain models, as well as on the parameterization of algorithms relevant to forest management applications.

Bevezetés

A Soproni Egyetemen futó *Merevszárnyú drón és kiértékelő szoftver fejlesztése határmegfigyeléshez és környezetértékeléshez* című, TKP2021-NVA-13 azonosítójú projekt (a továbbiakban BorderEye) nagy feldolgozási kapacitású, párhuzamosított célszoftver fejlesztése részfeladat keretében tanulmányozzuk a már rendelkezésre álló technológiákat is. Így merült fel a Kanadában légi lézerszkennerrel készült pontfelhők erdészeti célú feldolgozására fejlesztett lidR szoftver (ROUSSEL et al. 2020) tesztelése (lásd az 1. ábrát). A szabadon felhasználható, nyílt forráskódú szoftver fejlesztését a githubon (ROUSSEL 2026) koordinálják, a Windows és macOS operációs rendszerekre fordított bináris formája a CRAN rendszeren keresztül elérhető (ROUSSEL – AUTY 2020), s részletes, gyakorlatorientált kézikönyv segíti az elindulást (ROUSSEL et al. 2025).



1. ábra: Munka a lidR csomaggal

A lidR nem önálló szoftver, hanem a szintén szabad szoftverként terjesztett R (R CORE TEAM 2025) egy csomagja, amely jól beilleszkedik az R szoftveren belül formálódó geoinformatikai ökoszisztémába (BIVAND et al. 2025), amelynek számos elemét integrálja működése során.

A szoftverkörnyezet támogatja a több szálon futtatást. A modern CPU-k általában több magosak, és egy-egy mag több párhuzamosan futó szálat támogat (multi-threading). A multi-threading programoknak számos előnye lehet, különösen olyan alkalmazásokban, mint a lézerszkennelt adatok feldolgozása, ahol nagy mennyiségű adatot kell gyorsan és hatékonyan kezelni. A többszálúság lehetővé teszi a feladatok párhuzamos végrehajtását. A személyi számítógépeken sem ritka a tíz szálnál is többet futtató processzor, de egy munkaállomáson vagy szuperszámítógépen, akár nagyságrendekkel több szál (illetve processzormag) áll rendelkezésre az elindított feldolgozási folyamat számára (EIJKHOUT et al. 2023). A több szálon futó programokkal a lézerszkennelt adatok feldolgozási sebessége jelentősen növelhető. Mivel a szálak egymástól függetlenül dolgoznak, az összességében elért sebesség sokkal magasabb lehet, mint egyetlen szálon futó program esetén. Ez a projekt célkitűzéseivel összevágó lehetőség, hiszen éles helyzetben a lézerszkennelt adatokat valós időben kellene feldolgozni. Az adatot feldolgozók gyors válaszokat kapnak, s így lehetővé válik a gyors reagálás. A feldolgozás párhuzamosítása különösen nagy adathalmazok esetén eredményezhet jelentős teljesítményjavulást.

A teljesítmény javulása azonban nem lineáris a szálak, illetve a processzormagok növelésével. Az teljesítmény növekedés korlátait jól leírja az Amdahl-törvény, amely az egyes feladatok párhuzamosításának hatását elemzi. A törvény alkalmazásához le kell határolni az algoritmus azon részeit, amelyek nem párhuzamosíthatók. A törvény szerint a teljes sebességjavulás a párhuzamosított részaránytól függ, és a nem párhuzamosítható részek számának és időigényének függvénye (EIJKHOUT et al. 2023).

Eddigi ismereteink alapján a lézerszkennelt adatok feldolgozása jól párhuzamosíthatók, mivel a pontfelhővel lefedett területrészek függetlenek egymástól. Az ilyen feladatokban a párhuzamosítás lehetősége jelentős lehet. A párhuzamosítás legegyszerűbben a lézerszkennelt

A munka során a környezetet egy Pilisszántó községhatárban található, 90 éves tölgyes állományról készített felmérés adataival teszteltük. A 100 méter magasságból végzett adatgyűjtés mintaterülete 14,5 hektár. A repülés lombtalan állapotában történt, a CHCNav AlphaAir 450 rendszerrel, ami egy DJI Matrice 300 hordozót és egy LiVOX Avia LiDAR szenzort tartalmaz. Az adatgyűjtést a CHCNav Hungary Kft. végezte. A repülés nyomvonalának rögzítéséhez GNSS-alapú, valós idejű kinematikus helymeghatározást (RTK) történt. A repülési sorok száma öt, a sávok közötti átfedés mértéke 60%. A szenzor egy lézer kibocsátását követően legfeljebb három visszaverődést rögzít. Figyelembe véve az átfedési viszonyokat, az adatsűrűség 944 pontmérés négyzetméterenként. A felmérés során színhelyes fényképek készültek. A LiDAR ponthalmaz tájékozása és első szintű feldolgozása (zajsűrés, pontkoordináták helyzetének javítása) a CHC CoPre v. 2.3. szoftverrel történt.

Eredmények

A Komondor cpu partícióján való munka előkészítéséhez megtörtént az R környezet telepítése. Erre azért volt szükség, mert a rendszeren előzetesen telepített R verzióval a szükséges csomagok függőségek teljesülése híján nem voltak lefordíthatók. A telepítéshez ki kellett alakítani a projekt résztvevő által közösen használható környezetet. Ehhez a HPC GNU/Linux környezetében saját felhasználó és a `p_erdlidar` csoport mappái alá úgy konfiguráltuk a rendszert, hogy a projekt kapcsán csatlakozó felhasználók, ssh-n keresztül bejelentkezve változtatás nélkül tudják azt tesztelni. A projekthez tartozó közös mappába (`p_erdlidar`) létrehoztunk egy `local` nevű mappát, amely minden egyes lefordított szoftvernek a kiinduló mappája lett. A futtatható fájlok a `/project/p_erdlidar/local/bin` mappába kerültek, amelyet a `$PATH` környezeti változó első pozíciójába kell megadni. Az esetleges fordítási, konfigurálási feladatoknál az `$LD_LIBRARY_PATH` beállítása még fontos az egyes felhasználók esetében.

A fenti beállítások mellett a feladat jelentősebb részét a `lidR` csomag és az R-es geoinformatikai környezet működésébe hozásához szükséges geoinformatikai segédprogramok és programkönyvtárak telepítése jelentette. Ezek egyedi módon vagy a GNU Autotools vagy a CMake eszközök segítségével konfigurálhatók. Elsődlegesen három fontos csomag beállítása volt a cél. Ezek rendre (rövid leírással):

- GEOS (Geometry Engine – Open Source) : A térinformatikai számítások geometriai alapját biztosítja, például poligon-műveletekhez (metszés, unió stb.).
- PROJ : Koordináta-transzformációk és vetületi számítások könyvtára, elengedhetetlen a földrajzi adatok átszámításához.
- GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) : Általános célú könyvtár a raszteres és vektoros térinformatikai fájlformátumok olvasásához, írásához, konvertálásához.

A fenti három szoftver eszköz és az R működéséhez még az alább felsorolt kiegészítő szabad szoftverek telepítésére is szükség volt:

- readline: Az R parancssori felületének fejlettebb szerkesztési képességeit biztosítja.
- libexpat: XML feldolgozásához szükséges gyors és kis erőforrásigényű parser könyvtár.
- units: A mértékegységek kezelését biztosító könyvtár, amelyet többek között a térinformatikai és mérnöki csomagok használnak átváltásokkor.
- lz4 / libdeflate / zlib: Különböző tömörítési algoritmusok könyvtárai, főként a gyors adattömörítéshez (pl. a tömörített képformátumok vagy a `.las/.laz` fájlformátumok kezelésénél hasznosak).

- libtiff / libgeotiff: A TIFF és georeferált TIFF képek (GeoTIFF) kezeléséhez szükséges könyvtárak.
 - sqlite3: Széleskörűen elterjedt, kis erőforrás igényű SQL-alapú adatbáziskezelő, amely több térinformatikai csomag belső adattárolását segíti.
 - qhull: Konvex burok, Voronoi-diagram és Delaunay-trianguláció számítását végző könyvtár, hasznos például a LiDAR-pontfelhők interpolációjánál.
 - libaec / hdf5: Nagy mennyiségű tudományos adat tárolását támogató formátumokhoz szükséges könyvtárak.
 - TBB (Threading Building Blocks): A párhuzamos programozást segítő C++ könyvtár, amelyet egyes R csomagok (pl. data.table) használnak a gyorsítás érdekében.
- Miután a fenti programok konfigurálását és telepítését elvégeztük a `lidR` csomag futtatásához még számos R csomag telepítésére szükség volt:
- units: A units szoftverre támaszkodva a mértékegységek biztonságos kezelését teszi lehetővé az R-ben, különösen térinformatikai számításoknál.
 - Rcpp / RcppArmadillo: Lehetővé teszik C++ kód integrálását R-be, jelentős gyorsulást biztosít számításigényes műveleteknél.
 - tools: R belső segédcsomagja csomagkezeléshez, fájlműveletekhez, stb.
 - rlas: A LAS formátumú LiDAR pontfelhők beolvasására és feldolgozására szolgáló csomag.
 - data.table: Nagyméretű adattáblák gyors feldolgozására optimalizált csomag.
 - classInt: Osztályozási algoritmusokat tartalmaz, például térképes megjelenítéshez (pl. kvantilis, egyenlő intervallum).
 - rgl: Interaktív 3D grafikai csomag, hasznos pontfelhők és domborzat vizualizálásához.
 - glue: Egyszerű és hatékony eszköz karakterláncok formázásához.
 - terra: Korszerű, gyors eszköz raszteres térinformatikai adatok kezelésére.
 - s2: A Google S2 geometriarendszerét használja geodéziai számításokhoz (pl. pontok távolsága, fedésvizsgálat).
 - sf: A simple features szabvány R-megvalósítása; a térinformatikai elemzések kulcsfontosságú csomagja.
 - stars: Többdimenziós tér-idő adatok kezelésére szolgáló csomag, különösen hasznos például 3D-s idősort tartalmazó domborzati vagy műholdképeken alapuló vegetációs modellekhez.

A fenti komponensekből álló R geoinformatikai ökoszisztéma konfigurálása és telepítése után a `lidR` csomagot végül sikerült feltelepíteni és lehetővé vált a teszt adatokon az értékelő algoritmusok előzetes kipróbálása. A nyers pontfelhőből a domborzat meghatározására a Cloth Simulation Function (ZHANG et al. 2016) algoritmust használtuk. A `lidR` csomagba integrált növényzet elemző algoritmusok legtöbbje egy raszteres vagy vektoros korona modellből (canopy height model (CHM), normalizált borított felszín modellből) indul. Néhány algoritmus kipróbálásra került, amelyek közül legegyszerűbb a `p2r` (point-to-raster) modell, amely a legmagasabb visszavert pontokat egy kör mentén vett pixel sorozattal reprezentálja, amelyből a felület interpolálható. A `dsmtin` nevű algoritmus egy TIN modellből indul, amelyet egy utófeldolgozási eljárással simít. Hasonló módon, de utófeldolgozás nélkül,

működik a `pitfree` függvénnyel megvalósított algoritmus, amely a borított felszín modell bizonyos, előre beállítható magasság fölé eső részhalmozaira készít TIN hálót, amelyekből az elnyúlt háromszögeket kiejti. Így raszterizált képekből az átfedő pixeleknél a maximumot véve egy sokkal egyenletesebb és valóságot jobban közelítő felületet kapunk.

A faegyedek detektálása a csomagban történhet raszteres CHM-en vagy közvetlenül a pontfelhőn. Pontfelhőn dolgozik a Local Maximum Filter (LMF) függvény. Az eljárás alapértelmezetten egy előre meghatározandó ablakmérettel dolgozik. A kereső ablak méretét – hogy a kisebb fákat is megtalálja – a magasság függvényében lehet változtatni. Ehhez egyedi függvényt is lehet írni.

A fák szegmentálása is történhet közvetlenül a pontfelhőn vagy a fent bemutatott módszerekkel levezetett CHM-en. Mindkét eljárásnál történhet két lépésben. Azaz külön faegyed detektálással vagy a nélkül. Ezeknek az algoritmusoknak a tesztelése jelenleg is folyik.

Következtetések

A munka eredményeként kialakításra került egy LiDAR-feldolgozási környezet, amely lehetővé teszi nagyobb területű, erdészeti célú légerszkenneres pontfelhők hatékony feldolgozását szuperszámítógépes (HPC) infrastruktúrán.

A kialakított rendszer lehetőséget biztosít a párhuzamosított eljárások teljesítményelőnyének vizsgálatára a pontfelhők feldolgozásában, különösen a digitális felszín- és terepmodellek előállításában, illetve az erdőgazdálkodás számára releváns algoritmusok paraméterezése során.

A munka még csak elkezdődött, hiszen a BorderEye projekt szempontjából elsődleges cél a `lidR` csomag által kínált eljárások (Progressive Morphological Filter, Cloth Simulation Function, Multiscale Curvature Classification, stb.) kipróbálása és összehasonlítása. A `lidR` csomag már többször említett erőssége, hogy támogatja a párhuzamos feldolgozást, amely az asztali számítógépeken jelenleg csak a CPUba integrált néhány magon rendelkezésre álló párhuzamos szálakon lehetséges, a szoftver konfigurálása után a Komondoron környezetben, a gép architektúrájának köszönhetően ez a párhuzamosíthatóság és a memóriába tölthető adatok mennyisége nagyságrendekkel megnőhet. E teljesítmény növekedés vizsgálata a következő időszak feladata.

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció a TKP2021-NVA-13 azonosítószámú projekt keretében a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg. Az informatikai háttérrel a Komondort üzemeltető Digitális Kormányzati Fejlesztés és Projektmenedzsment Kft. nyújtotta a HPC-hez történő hozzáférés biztosításával. Külön köszönet jár Kottek Péternek és Emad Hassan Elawad Yasinnak, akik egymástól függetlenül felhívták a figyelmet a `lidR` csomagra.

Irodalomjegyzék

- BIVAND R.– NOWOSAD J.– DYBA K. (2025): CRAN Task View: Analysis of Spatial Data. Version 2025-11-11. <https://CRAN.R-project.org/view=Spatial>
- EIJKHOUT V.– CHOW E.– VAN DE GEIJN R. (2023): The Science of Computing. The Art of High Performance Computing, Volume 1. <https://theartofhpc.com>
- R CORE TEAM (2025): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- ROUSSEL J.– AUTY D.– COOPS N.C.– TOMPALSKI P.– GOODBODY T.R.– MEADOR A.S.– BOURDON J.– DE BOISSIEU F.– ACHIM A. (2020): `lidR`: An R package for analysis of Airborne Laser

- Scanning (ALS) data. *Remote Sensing of Environment*, 251, 112061.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112061>
- ROUSSEL J.– AUTY D. (2026): Airborne LiDAR Data Manipulation and Visualization for Forestry Applications. R package version 4.2.3. <https://cran.r-project.org/package=lidR>
- ROUSSEL J.-R.– GOODBODY, T.R.H. –TOMPALSKI, P. (2025): The lidR package – A guide to the lidR package. Laval University. <https://r-lidar.github.io/lidRbook/>
- ROUSSEL J.-R. (2026): lidR – R package for Airborne LiDAR Data Manipulation and Visualization for Forestry Applications. Repozitórium. <https://github.com/r-lidar/lidR>
- ZHANG, W.– QI, J.– WAN, P.– WANG, H.– XIE, D.– WANG, X.– YAN, G. (2016): An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. *Remote Sens.* 8:6 501.
<https://doi.org/10.3390/rs8060501>

A PILIS BIKE HÁLÓZAT FEJLESZTÉSE, FORGALMI ADATAI ÉS A HASZNÁLÓI VISSZAJELZÉSEK TAPASZTALATAI – A FEJLESZTÉSEK, ADATGYŰJTÉS ÉS A FELHASZNÁLÓI IGÉNYEK ÖSSZEFÜGGÉSEINEK BEMUTATÁSA

Development of the Pilis Bike Network, Its Traffic Data and User Feedback Experiences – Presenting the Interrelations Between Developments, Data Collection, and User Needs

KÁLMÁN MIKLÓS¹, BOLLA KRISZTINA², RÁCZ KÁROLY³

¹⁻²Pilisi Parkerdő Zrt., Pályázati és Vállalkozási főmérnökség

³Pilisi Parkerdő Zrt., Budapesti Erdészet

³Forestvisit Kft.

kalman.miklos@pprt.hu

Kivonat

A cikk a Pilisi Parkerdő Zrt. által működtetett Pilis Bike hálózat fejlesztését, forgalmi adatait és felhasználói visszajelzéseit mutatja be, a fenntartható és természetbarát kerékpáros turizmus kialakításának céljával. A hálózat 2016 óta meglévő erdészeti utakra épül, tematikus túraútvonalakkal és Parkolj + Bringázz pontokkal kiszolgálva a különböző felhasználói csoportokat. A kutatás módszertana a több ütemben megvalósult és megvalósuló infrastrukturális fejlesztések elemzésére, a 2022–2025 közötti forgalomszámlálási adatok feldolgozására, valamint egy 2025-ben végzett online kérdőíves felmérésre épül. Az eredmények jelentős, 29%-os forgalomnövekedést, valamint magas, 90% feletti felhasználói elégedettséget mutatnak. Ugyanakkor a válaszadók konkrét fejlesztési igényeket is megfogalmaztak, elsősorban az útburkolatok, az alternatív útvonalak és a pihenőpontok terén. A tanulmány rámutat arra, hogy a forgalmi adatok, a felhasználói visszajelzések és a fejlesztési tervezés összehangolása kulcsszerepet játszik a Pilis Bike hálózat jövőbeni, TOP Plusz program keretében megvalósuló fejlesztéseiben.

Abstract

The article presents the development, traffic data, and user feedback of the Pilis Bike network operated by Pilisi Parkerdő PLC., with the aim of promoting sustainable and nature-friendly cycling tourism. Since 2016, the network has been based on existing forestry roads, serving various user groups through thematic cycling routes and Park + Bike facilities. The research methodology is based on the analysis of infrastructure developments implemented and currently being implemented in several phases, the processing of traffic count data collected between 2022 and 2025, and an online questionnaire survey conducted in 2025. The results show a significant 29% increase in cycling traffic as well as a high level of user satisfaction exceeding 90%. At the same time, respondents articulated specific development needs, primarily related to road surface quality, the expansion of alternative routes, and the improvement of rest areas. The study highlights that the coordination of traffic data, user feedback, and development planning plays a key role in the future development of the Pilis Bike network within the framework of the TOP Plus programme.

Bevezetés

Az aktív turizmus és azon belül a kerékpáros turizmus szerepe Európa-szerte, így Magyarországon is folyamatosan erősödik. A természetközeli élmények iránti növekvő társadalmi igény, valamint az egészségtudatos életmód térnyerése egyaránt hozzájárul ahhoz, hogy az erdőterületek ökoturisztikai funkciói kiemelt figyelmet kapjanak. Az erdei kerékpározás e folyamat egyik legdinamikusabban fejlődő formája, amely egyszerre jelent rekreációs lehetőséget és terhelést az erdőgazdálkodás által kezelt infrastruktúrára.

A Pilis–Visegrádi-hegység és a Budai-hegység térsége országos szinten is kiemelkedő jelentőségű a kerékpáros turizmus szempontjából. A térség erdészeti úthálózata hosszú időn keresztül elsősorban gazdálkodási célokat szolgált, azonban a látogatószám növekedésével egyre inkább ökoturisztikai funkciókat is ellát. A fokozódó igénybevétel ugyanakkor felszínre hozta az infrastruktúra műszaki állapotából fakadó problémákat, különösen a burkolt, de elavult erdészeti magánutak esetében, amelyek számos szakaszon már nem feleltek meg a biztonságos kerékpáros használat követelményeinek.

A Pilisi Parkerdő Zrt. által megvalósított erdei kerékpáros infrastruktúra-fejlesztési projekt célja az volt, hogy a meglévő erdészeti magánutak felújításával, korszerűsítésével és célzott műszaki beavatkozásokkal fenntartható módon javítsa a kerékpáros közlekedés feltételeit. A fejlesztések nem új nyomvonalak kialakításával, hanem meglévő utak hasznosításával valósultak meg, ami lehetővé tette a természetvédelmi szempontok érvényesítését és az erdőgazdálkodási funkciók megőrzését.

A fejlesztések értékelésében kiemelt szerepet kapott az objektív, mérésen alapuló adatgyűjtés. Az automatikus kerékpáros forgalomszámláló berendezések telepítésével lehetőség nyílt a látogatottság hosszú távú, folyamatos nyomon követésére. Az így nyert adatok alkalmasak a használati szokások, időbeli eloszlások és forgalmi trendek elemzésére, valamint a fejlesztések hatásainak számszerű igazolására. A mérési eredmények egyben alapot biztosítanak a jövőbeni beruházások megalapozásához és az erdőterületek terhelhetőségének vizsgálatához. (KISFALUDI et al. 2018)

A jelen cikk célja, hogy bemutassa a Pilisi Parkerdő Zrt. által megvalósított erdei kerékpáros infrastruktúra-fejlesztések főbb műszaki és szervezési jellemzőit, valamint elemezze a 2022 és 2025 közötti időszakban gyűjtött kerékpáros forgalmi adatokat. A vizsgálat külön figyelmet fordít a látogatószám alakulására, az időbeli megoszlásokra, valamint a fejlesztések és a forgalmi növekedés közötti összefüggések feltárására.

A TOP_PLUSZ-6.1.4-23 pályázati felhívás keretében a „Pilis Bike hálózat fejlesztése” projekt pozitív támogatói döntésben részesült, amely közel 1 milliárd forint vissza nem térítendő támogatást biztosít a további beruházások megvalósításához. A program célja az erdei kerékpáros infrastruktúra műszaki színvonalának emelése, a használói komfort növelése, valamint a szolgáltatási elemek bővítése, mindezt a természetvédelmi és erdőgazdálkodási szempontok figyelembevételével.

A TOP Plusz program keretében megvalósuló fejlesztések szervesen illeszkednek a korábbi beruházások tapasztalataihoz és a forgalomszámlálási adatok által kirajzolt tendenciákhoz. A jelen cikk ezért nemcsak a múltbeli fejlesztések értékelésére vállalkozik, hanem bemutatja azt a fejlesztési irányt is, amely a Pilis Bike hálózat jövőbeni működését és fenntartható fejlődését alapvetően meghatározza.

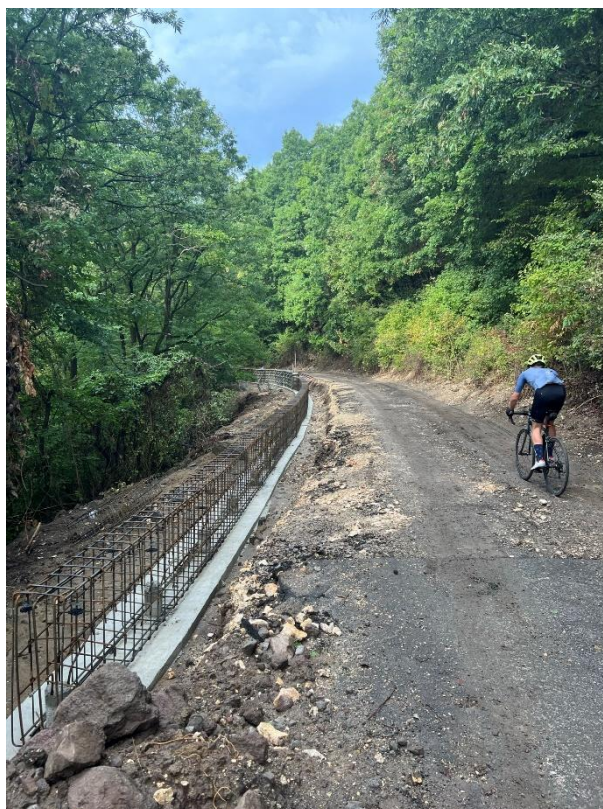
Anyag és módszer

A vizsgálat tárgyát a Pilisi Parkerdő Zrt. kezelésében álló, kerékpáros forgalom számára megnyitott erdészeti magánutak képezték, amelyek a Pilis–Visegrádi-hegység és a Budai-hegység területén, a Pilis Bike hálózat részeként kerültek kijelölésre. A kutatás azokon az útszakaszokon valósult meg, amelyek a 2021–2022 között végrehajtott erdei kerékpáros infrastruktúra-fejlesztési projekt keretében felújításra kerültek, illetve amelyekhez kapcsolódóan automatikus forgalomszámlálási adatok álltak rendelkezésre.

A vizsgált terület földrajzilag változatos domborzati és geológiai adottságokkal rendelkezik, amely jelentős hatással van mind az útépitési beavatkozások típusára, mind az úthasználatra. A hálózat aszfalt és zúzottköves burkolt erdészeti utakból áll, amelyek közforgalom számára

megnyitott, de alapvetően erdőgazdálkodási célú létesítmények. A fejlesztések során kizárólag meglévő nyomvonalakon történt beavatkozás, új utak kialakítására nem került sor.

Az infrastruktúra-fejlesztés során az utak műszaki állapotának felmérése alapján többféle beavatkozástípus került alkalmazásra. A burkolat és az alépítmény károsodásának mértékétől függően hideg remix eljárással történő útalap-stabilizálás, teljes pályaszerkezeti csere, részleges burkolatmegerősítés, valamint lokális javítások valósultak meg. (MEVITO, 2021) A legjelentősebb beavatkozások az „A”, „B” és „I” típusú mintakeresztelvények szerint készültek, amelyek a pályaszerkezet teljes vagy részleges újjáépítését, georácsos megerősítést, valamint speciális megtámasztó szerkezetek kialakítását is magukban foglalták. (BOLLA et al. 2025)



1. ábra: „I” jelű mintakeresztelvény szerint épülő fejgerenda (és az építési területen megjelenő kerékpárosforgalom)

A felújítások során összesen mintegy 45 km hosszúságban történt burkolatcsere vagy megerősítés, amely több mint 80 000 m² területet érintett. A pályaszerkezeti munkák mellett kiemelt figyelmet kapott a vízelvezetési rendszer helyreállítása, az árkok tisztítása és az át-ereszek felújítása, mivel az erdei utak hosszú távú állékonyságát alapvetően a csapadékvíz megfelelő elvezetése határozza meg. A projekt részeként a meglévő sorompók egy részét kerékpárosbarát kialakítású elemekre cserélték. (BOLLA et al. 2025)

A kerékpáros forgalom mérésére automatikus forgalomszámláló berendezések kerültek telepítésre négy helyszínen: Visegrád (István-kunyhói erdészház), Szentendre (Sztaravodai-erdészház és Erdészet), valamint Pilismarót (Mózer-rakodói erdészház). Az alkalmazott eszközök erdei környezetben működő, folyamatos adatgyűjtésre alkalmas rendszerek, amelyek óras bontásban rögzítik az áthaladó kerékpárosok számát irányonként, az átlagsebességet, valamint az adott időszakban mért legnagyobb sebességet.

A mérési adatok naponta, mobil hálózaton keresztül kerültek továbbításra egy központi szerverre, ahol egy webalapú adatmegjelenítő felületen váltak elérhetővé. (FORESTVISIT, 2017)

Az adatfeldolgozás során a 2022–2025 közötti időszak teljes éves adatai kerültek elemzésre. A feldolgozás kiterjedt az éves és havi forgalmi értékek meghatározására, a hétköznapi és hétvégi használat összehasonlítására, valamint a napon belüli eloszlások vizsgálatára. A kiugró forgalmi értékek esetében utólagos eseményelemzés történt.

A kutatás módszertanának részét képezte a felhasználói elégedettségi vizsgálat is, amely online kérdőíves felmérés formájában valósult meg 2025 augusztusa és szeptembere között. A kérdőív anonim módon gyűjtötte a Pilis Bike hálózat használóinak demográfiai adatait, használati szokásait, elégedettségi értékeléseit és fejlesztési javaslatait. A kérdőív kitöltési ideje 5–8 perc volt, a felmérés során összesen 833 értékelhető válasz érkezett.

Az adatfeldolgozás során a forgalomszámlálási adatok és a kérdőíves felmérés eredményei egymással összevetésre kerültek, lehetővé téve az infrastruktúra-fejlesztések hatásának komplex értékelését. A módszertan célja nem statisztikai reprezentativitás biztosítása volt, hanem a használati tendenciák, terhelési mintázatok és fejlesztési irányok feltárása, amelyek megalapozzák a Pilis Bike hálózat további fejlesztését.

Eredmények

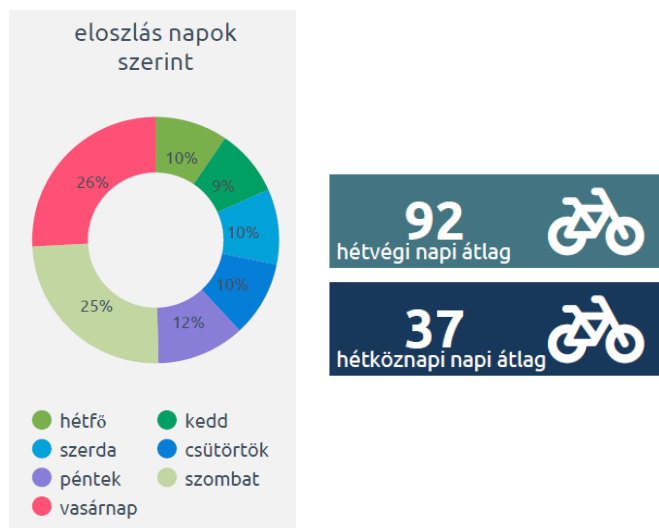
A 2022 és 2025 közötti időszak automatikus forgalomszámlálási adatai alapján megállapítható, hogy a Pilis Bike hálózat érintett útszakaszain a kerékpáros forgalom jelentős és tartós növekedést mutatott. A négy mérési ponton összesen közel 310 ezer kerékpáros áthaladás került rögzítésre a vizsgált időszakban. Az éves összesített adatok alapján a forgalom 2022-höz viszonyítva 2025-re mintegy 30%-kal emelkedett, ami egyértelműen jelzi az erdei kerékpározás iránti növekvő keresletet és a hálózat vonzerejét.

1. Táblázat: Áthaladások száma helyszínenként és évenként

Helyszín	2022	2023	2024	2025	2025/2022 aránya
Szentendre	18 862	20 884	26 995	27 942	148%
Sztaravoda	11 365	11 142	15 968	21 644	190%
Visegrád	22 499	20 441	21 523	21 423	95%
Pilismarót	15 204	17 702	15 746	16 919	111%
Összesen	67 930	70 169	80 232	87 928	129%

Az éves adatok helyszínenkénti bontása eltérő dinamikát mutatott. Szentendre és Sztaravoda térségében folyamatos növekedés volt tapasztalható, utóbbi esetében a növekedés mértéke elérte a 90%-ot. Visegrád esetében az éves forgalom stabilan magas szinten maradt, míg Pilismaróton a felújításokat követően ideiglenes növekedés, majd mérsékelt visszarendezés volt megfigyelhető. Az eltérések hátterében a környezeti adottságok, a megközelíthetőség és az egyes szakaszokon végrehajtott fejlesztések eltérő jellege áll.

Az időbeli eloszlások vizsgálata szerint a kerékpáros forgalom szezonálisan erősen koncentrált. A legnagyobb terhelés a tavaszi–nyári időszakban jelentkezett, különösen májusban és júliusban. A heti eloszlás alapján a vasárnap volt a legforgalmasabb nap, amelyet szorosan követett a szombat, míg a hétköznapiak között viszonylag kiegyenlített megoszlás volt tapasztalható. A napon belüli forgalom elsősorban a délutáni órákra koncentrálódott, ugyanakkor reggeli és esti időszakban is mérhető számú áthaladás történt.



2. ábra: Eloszlás napok és hétvége/hétköznapi napi átlag szerint. Forrás: Forestvisit, 2026

A kiugró forgalmi értékek elemzése alapján megállapítható, hogy azok nem mérési hibákból, hanem konkrét eseményekből eredtek. A legjelentősebb forgalomnövekedés 2022. május 6-án volt tapasztalható, amely a Giro d'Italia visegrádi befutójához kapcsolódott. Ezen a napon az óránkénti áthaladások száma többszörösen meghaladta az adott időszak átlagértékeit, jól szemléltetve a nagyrendezvények erdei úthálózatra gyakorolt közvetett hatását. (BOLLA et al. 2025)



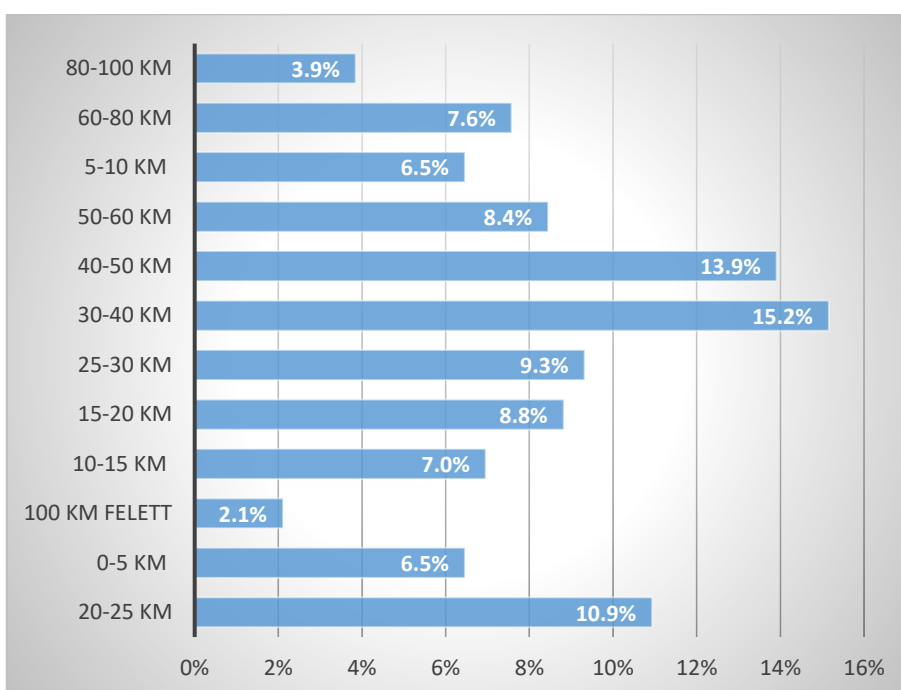
3. ábra: Áthaladások száma. Forrás: Forestvisit Kft., 2026

A hosszabb távú összehasonlítások alapján, a korábbi – 2012–2016 közötti – kísérleti mérésekhez viszonyítva (KISFALUDI, 2017) a visegrádi helyszínen a kerékpáros forgalom közel 40%-os növekedést mutatott. A növekedés különösen a hétköznapi napi átlagértékekben volt jelentős, ami arra utal, hogy az erdei kerékpározás már nem kizárólag hétvégi rekreációs tevékenységként jelenik meg, hanem egyre inkább beépül a rendszeres sportolási szokások közé.

1. Táblázat: Visegrád kerékpáros áthaladások száma

	kerékpáros napi átlagos áthaladás (2016)	kerékpáros napi átlagos áthaladás (2022-2025)	növekedés
hétköznapi napi átlag	25	39	155%
hétvégi napi átlag	84	108	129%

A felhasználói elégedettségi kérdőív eredményei megerősítették a forgalmi adatokból kirajzolódó tendenciákat. A 833 válasz alapján a Pilis Bike hálózat használói döntően aktív, sportorientált kerékpárosok, akik rendszeresen és hosszabb távokon veszik igénybe az útvonalakat. A leggyakoribb használati cél a kikapcsolódás, az edzés és a túrázás volt, míg a családi és alkalmi használat kisebb arányban jelent meg. (KÁLMÁN, 2025)



3. ábra: Pilis Bike hálózaton megtett távolság

Az elégedettségi értékelések alapján a hálózat legnagyobb erősségei a természetközeli környezet, a forgalomtól elzárt útvonalak és a változatos túralehetőségek. Ugyanakkor a válaszadók több mint egynegyede jelzett balesetveszélyes szakaszokat, elsősorban a burkolat állapota, kátyúk és vízmosások miatt. A legtöbb fejlesztési javaslat az utak karbantartására, a burkolatminőség javítására, valamint a pihenő- és szervizpontok bővítésére irányult. (KÁLMÁN, 2025)

Össességében az eredmények azt mutatják, hogy a 2022-ben megvalósult erdei kerékpáros infrastruktúra-fejlesztések mérhető forgalomművekedést eredményeztek, ugyanakkor a használói igények további beavatkozásokat indokolnak. Az automatikus forgalomszámálási adatok és a felhasználói visszajelzések együttesen megalapozzák a TOP Plusz program keretében tervezett fejlesztések szakmai szükségességét, és alátámasztják az adatvezérelt hálózatfejlesztés létjogosultságát.

Következtetések

A 2022–2025 közötti időszak forgalomszámlálási és felhasználói adatai alapján egyértelműen megállapítható, hogy a Pilis Bike hálózat erdei kerékpáros infrastruktúrájának fejlesztése mérhető és tartós hatással volt a kerékpáros forgalom alakulására. Az összesített áthaladásszámok növekedése, valamint a hosszabb távú trendek azt mutatják, hogy a felújított erdészeti utak nemcsak megtartották korábbi vonzerejüket, hanem új felhasználókat is bevonzottak. Az eredmények igazolják, hogy a meglévő nyomvonalakon végrehajtott, célzott műszaki beavatkozások hatékony eszközei a kerékpáros turizmus fejlesztésének.

A helyszínenként eltérő forgalmi dinamikák rámutatnak arra, hogy az infrastruktúra állapota mellett a térségi adottságok, a megközelíthetőség és a kapcsolódó szolgáltatások is jelentős szerepet játszanak az úthasználat alakulásában. Különösen figyelemre méltó, hogy olyan szakaszokon is jelentős forgalomnövekedés volt tapasztalható, ahol kizárólag kisebb beavatkozások – például kerékpárosbarát sorompók kihelyezése – történtek. Ez arra utal, hogy a használói élmény javítása nem kizárólag nagy volumenű útépítési beruházásokkal érhető el.



4. ábra: "Kerékpárosbarát" sorompó

Az időbeli eloszlások elemzése alapján megállapítható, hogy az erdei kerékpározás túllépett a hagyományos hétfégi rekreációs kereteken. A hétköznapi forgalom növekedése, valamint a napon belüli eloszlások kiegyenlítettebbé válása azt jelzi, hogy a hálózat egyre inkább rendszeres sportolási és edzési helyszínként funkcionál. Ez a tendencia fokozott igénybevételt jelent az infrastruktúra számára, és hosszú távon tudatos karbantartási és állagmegóvási stratégiát igényel.

A felhasználói elégedettségi vizsgálat eredményei jól kiegészítik a kvantitatív forgalmi adatokat. A válaszadók által megfogalmazott visszajelzések alapján a hálózat legfőbb értéke a természetközeli, forgalomtól elzárt környezet és a változatos útvonalak rendszere. Ugyanakkor a burkolatminőséggel, karbantartottsággal és tájékozódással kapcsolatos kritikák arra hívják fel a figyelmet, hogy a fejlesztések fenntarthatósága csak folyamatos üzemeltetési és karbantartási beavatkozások mellett biztosítható.

A balesetveszélyes szakaszokra vonatkozó észrevételek és a fejlesztési javaslatok nagy száma egyértelműen jelzi, hogy a használók elsősorban a biztonságos közlekedési feltételeket tekintik alapelvárásnak. A felhasználók által preferált fejlesztési irányok – burkolatjavítás, pihenő- és szervizpontok kialakítása – összhangban állnak a forgalomszámlálási adatok

által jelzett növekvő terheléssel. Ez megerősíti azt a megközelítést, hogy a hálózat fejlesztése nem forgalomnövelési, hanem minőségjavító célt kell, hogy szolgáljon.

A TOP Plusz támogatással megvalósuló fejlesztések – így az útszakaszok további felújítása, új kerékpáros pihenőhelyek és szervizpontok kialakítása, parkolópontok korszerűsítése, valamint a táblarendszer és az online információs felületek fejlesztése – közvetlen válaszként értelmezhetők a forgalmi adatok és a felhasználói visszajelzések által feltárt igényekre. A digitális térképek és útvonaltervező rendszerek fejlesztése különösen fontos szerepet tölthet be a tájékozódási problémák csökkentésében és a forgalom térbeli terelésében.

A vizsgálat eredményei összességében alátámasztják a TOP Plusz program keretében tervezett további fejlesztések szakmai indokoltságát. Az automatikus forgalomszámlálási rendszer és a felhasználói visszajelzések együttes alkalmazása hatékony eszközt biztosít az adatvezérelt döntéshozatalhoz. A Pilis Bike hálózat példája jól mutatja, hogy az erdészeti infrastruktúra-fejlesztések akkor lehetnek hosszú távon sikeresek, ha azok a műszaki, használói és természetvédelmi szempontokat integrált módon kezelik. A 2022-es beruházások tapasztalataira épülő, TOP Plusz program által támogatott új fejlesztési ütem lehetőséget teremt arra, hogy a hálózat ne csupán forgalmában növekedjen, hanem minőségében is egységesebb, biztonságosabb és környezettudatosabb rendszerré váljon.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az aktív turisztikai fejlesztések projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BOLLA K. – KÁLMÁN M. – RÁCZ K. (2025): Erdei kerékpáros infrastruktúra felújítása és a kapcsolódó látogatószám adatok elemzése, Erdészeti Lapok CLX.. évf. 5. szám (2025. május)
- KÁLMÁN M. (2025): Pilis Bike hálózat felújítása, Diplomamunka, Győr, Széchenyi István Egyetem
- KISFALUDI B. (2017): Nagy látogatottságú erdészeti feltáróutak közjóléti forgalmának mérése és elemzése, Doktori (PhD) értekezés, Sopron, Soproni Egyetem
- KISFALUDI B. - PÉTERFALVI J. - PRIMUSZ P. - KÁLMÁN M. (2018): Automatikus közjóléti forgalomszámlálás a Pilisi Parkerdő Zrt. területén, Erdészeti Lapok CLIII. évf. 3. szám (2018. március)
- MEVITO MÉRNÖKIRODA KFT. (2021): Egyesített (eng. és kiviteli) terv, Erdei kerékpárutak felújításának tervezése a Pilisi Parkerdő területén, Pilisvörösvár
- FORESTVISIT KFT. (2021): Műszaki Leírás, Forgalom számláló berendezésekre, Visegrád

