



# Erdészettudományi Közlemények

14. évfolyam 1-2. szám 2024

A Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézetének  
és Erdőmérnöki Karának tudományos lapja







### **A növekedésmérés mérőeszközei az intenzív monitoring mátrai bükkös mintaterületén**

Az Erdészeti Mérő- és Megfigyelő Rendszer (EMMRE) részeként működő intenzív monitoringban több szinten is mérjük az állományok (fák) növekedését. Ötévente kerül sor a teljes mintaterület állományfelvételére (átmérő, magasság, koronahossz, magassági osztály). Az éves növekedést, illetve az éves növekedésmenetet kiválasztott fákra, többféle mérőeszkővel mérjük. Házilag előállított, Járó Zoltán által módosított Liming-féle szalagot (a képen legalul) használunk minden mintaterületen, területenként legalább 15 fán. Ezeket a szalagokat digitális tolómérővel mérjük márciustól novemberig hetente, azon kívül kéthetente. Ezekkel a szalagokkal párhuzamosan használunk kereskedelmi forgalomban is kapható dendrométer szalagokat (a képen a középső), melyeknek leolvasásához nem szükséges mérőeszköz, mert a nóniusznál az átmérő azonnal leolvasható. A mátrai területeken, néhány jó növekedésű fán használunk digitális dendrométereket is (a képen a legfelső mérőeszköz), amelyekkel 10 perces gyakoriságú adatsorokat kapunk. Ezekkel akár a növekedés napi ritmusát is nyomon lehet követni.

Összehasonlítás céljából a képen egy fára szerelve láthatóak a használatban lévő növekedésmérők. A digitális dendrométer mellett ugyanazon a fán mindig használunk kézi leolvasású növekedésmérő szalagot is.

**Fotó és szöveg: Manninger Miklós (SOE ERTI)**



# Erdészettudományi Közlemények

14. évfolyam 1–2. szám



2024



**Főszerkesztő:**

*Csóka György (SOE ERTI)*

**Helyettes főszerkesztő:**

*Lakatos Ferenc (SOE EMK)*

**Szerkesztők:**

*Hirka Anikó (SOE ERTI)*

*Király Gergely (SOE EMK)*

*Molnár Miklós*

**A szerkesztőbizottság társelnökei:**

*Borovics Attila (SOE ERTI) és Heil Bálint (SOE EMK)*

**A szerkesztőbizottság tagjai:**

*Albert Levente (SOE EMK)*

*Duska József (MEGOSZ)*

*Führer Ernő (SOE ERTI)*

*Gribovszki Zoltán (SOE EMK)*

*Kolozs László (AM EFO)*

*Kovács Gábor (SOE EMK)*

*Náhlík András (Sapientia EMTE)*

*Szabados Ildikó (AM)*

*Szepesi András (AM)*

**Kiadó:**

Soproni Egyetem Kiadó

**Felelős kiadó:**

*Prof. Dr. Fábián Attila a Soproni Egyetem rektora*

**Címlapterv:**

Griffes Grafikai Stúdió

4027 Debrecen, Ibolya u. 8. III/10.

[www.griffes.hu](http://www.griffes.hu)

**Címlapkép:**

Magas törzsodúban megbújó levelibéka (© Frank Tamás)

**ISSN 2062-6711**

**Nyomdai munkák:**

**INFORM**

Kiadó & Nyomda

2013 POMÁZ, MIKSZÁTH K. U. 14.  
[WWW.INFORMKIADO.HU](http://WWW.INFORMKIADO.HU)

Inform Kiadó és Nyomda Kft.  
2013 Pomáz, Mikszáth K. u. 14.  
2025/06

# TARTALOMJEGYZÉK

## 14. évfolyam 1. szám

|                                                                                                                                                                    |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Ábri Tamás, Keserű Zsolt, Sóvágó Emese és Rédei Károly                                                                                                             |        |
| <b>A simafenyő (<i>Pinus strobus</i> L.) termesztésének tapasztalatai a Tiszántúl homoki termőhelyein</b>                                                          | 5–14   |
| Borovics Attila, Király Éva és Kottek Péter                                                                                                                        |        |
| <b>A hazai erdészeti és faipari szektor szénmérlegének előrejelzése az erdőipari szén modell felhasználásával</b>                                                  | 15–32  |
| Fábián Attila, Lakatos Ferenc, Elekné Fodor Veronika, Őrsi Árpád, Náhlik András és Polgár András                                                                   |        |
| <b>A Soproni Egyetem alkalmazott fenntarthatósági modellje</b>                                                                                                     | 33–46  |
| Illés Gábor és Schiberna Endre                                                                                                                                     |        |
| <b>Erdőtelepítési potenciál becslése termőhelyi adatbázisok alapján</b>                                                                                            | 47–61  |
| Király Éva, Kis-Kovács Gábor, Börcsök Zoltán, Kocsis Zoltán, Kottek Péter, Merti Tamás, Németh Gábor, Polgár András és Borovics Attila                             |        |
| <b>A hazai faiparhoz kapcsolódó klímamitigációs intézkedések hatásbecslése</b>                                                                                     | 63–86  |
| Kollár Tamás                                                                                                                                                       |        |
| <b>Kocsánytalan tölgy (<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.) állományok fatermési függvénye és táblája az ERTI tartamkísérleti hálózatának adatbázisa alapján</b> | 87–111 |

## 14. évfolyam 2. szám

|                                                                                                                                                                           |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Jagodics Anikó és Führer Ernő                                                                                                                                             |         |
| <b>Az avar és a humusztakaró vizsgálata zalai bükkösökben összefüggésben az időjárással</b>                                                                               | 115–130 |
| Benke Attila, Toldi Valter, Süle Tamás és Bereczki Katalin                                                                                                                |         |
| <b>A tápanyag-utánpótlás hatása az akác (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) levélben történő elem-akkumulációjára: egy Tápiószelén létesült kísérlet eredményei</b>          | 131–144 |
| Cseke Klára, Borovics Attila, Jagodics Anikó, Lados Botond Boldizsár, Nagy László, Benke Attila és Kollár Tamás                                                           |         |
| <b>A gyéritések lehetséges hatása bükk állományok genetikai szerkezetére – három hosszúlejárátú, erdőnevelési sor genetikai és fatermési szempontú értékelése</b>         | 145–163 |
| Szabó András, Gribovszki Zoltán, Szolgay Ján, Kalicz Péter és Bolla Bence                                                                                                 |         |
| <b>Talajvíz és a gyökérszóna kapcsolatának vizsgálata Püspökladány-Farkasszigeti mintaterületen a 2020–2023 közötti időszakban</b>                                        | 165–176 |
| Horváth Bálint, Nagy-Khell Melinda, Farkas Máté, Németh Tamás Márton, Bereczki Katalin, Bolla Bence, Jeczó Virág, Kiss Lászlóné, Toldi Valter, Fonyó Tamás és Illés Gábor |         |
| <b>A Remetékert Erdőrezervátum (ER-37) faállományszerkezet, fekvő holtfa és termőhely vizsgálatának eredményei</b>                                                        | 177–193 |
| Eötvös Csaba Béla                                                                                                                                                         |         |
| <b>A lombkorona kutatások jelentősége és főbb módszerei</b>                                                                                                               | 195–212 |
| <b>Az Acta Silvatica &amp; Lignaria Hungarica 20. évfolyamában (1–2. szám) megjelent tanulmányok címei és kivonatai</b>                                                   | 213–216 |



# CONTENTS

## Vol. 14 Nr. 1

|                                                                                                                                                                                                                              |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <i>Tamás Ábri, Zsolt Keserű, Emese Sóvágó and Károly Rédei</i><br><b>Experiences of eastern white pine (<i>Pinus strobus</i> L.) crop management on sandy soil site conditions in the Trans-Tiszanian region</b>             | 5–14   |
| <i>Attila Borovics, Éva Király and Péter Kottek</i><br><b>Predicting carbon balance in the hungarian forestry and wood industry sector via the forest industry carbon model</b>                                              | 15–32  |
| <i>Attila Fábián, Ferenc Lakatos, Veronika Elekné Fodor, Árpád Őrsi, András Náhlik and András Polgár</i><br><b>Applied sustainability modell of the University of Sopron</b>                                                 | 33–46  |
| <i>Gábor Illés and Endre Schiberna</i><br><b>Assessing afforestation potential on the basis of ecological datasets</b>                                                                                                       | 47–61  |
| <i>Éva Király, Gábor Kis-Kovács, Zoltán Börcsök, Zoltán Kocsis, Péter Kottek, Tamás Mertl, Gábor Németh, András Polgár and Attila Borovics</i><br><b>Mitigating climate change through wood industry measures in Hungary</b> | 63–86  |
| <i>Tamás Kollár</i><br><b>Forest yield function and table of sessile oak (<i>Quercus petraea</i>) stands by the FRI's long duration research network database</b>                                                            | 87–111 |

## Vol. 14 Nr. 2

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <i>Anikó Jagodics and Ernő Führer</i><br><b>Investigations on leaf litter and humus layers of beech forests in Zala County (Hungary) in relation to weather conditions</b>                                                                                                                           | 115–130 |
| <i>Attila Benke, Valter Toldi, Tamás Süle and Katalin Bereczki</i><br><b>Effects of fertilization on nutrient accumulation in black locust (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) leaves: results of an experiment in Tápiószele</b>                                                                       | 131–144 |
| <i>Klára Cseke, Attila Borovics, Anikó Jagodics, Botond Boldizsár Lados, László Nagy, Attila Benke and Tamás Kollár</i><br><b>The effect of thinning on the genetic structure of beech stands – a genetic and growth assessment of three long-term beech forest thinning trials</b>                  | 145–163 |
| <i>András Szabó, Zoltán Gribovski, Ján Szolgay, Péter Kalicz and Bence Bolla</i><br><b>Investigation of the relationship between groundwater and the root zone in the Püspökladány-Farkassziget study site during the period 2020–2023</b>                                                           | 165–176 |
| <i>Bálint Horváth, Melinda Nagy-Khell, Máté Farkas, Tamás Márton Németh, Katalin Bereczki, Bence Bolla, Virág Jeczó, Lászlóné Kiss, Valter Toldi, Tamás Fonyó and Gábor Illés</i><br><b>Study on the stand structure, lying dead trees and site characteristics in the Remetekert forest reserve</b> | 177–193 |
| <i>Csaba Béla Eötvös</i><br><b>Why we should research canopy processes and what methods are available</b>                                                                                                                                                                                            | 195–212 |
| <b>Titles and abstracts of papers published in the 20<sup>th</sup> volume (Nr. 1–2.) of the Acta Silvatica &amp; Lignaria Hungarica</b>                                                                                                                                                              | 213–216 |

# A SIMAFENYŐ (*PINUS STROBUS* L.) TERMESZTÉSÉNEK TAPASZTALATAI A TISZÁNTÚL HOMOKI TERMŐHELYEIN

Ábri Tamás<sup>1</sup>, Keserű Zsolt<sup>1</sup>, Sóvágó Emese<sup>1</sup> és Rédei Károly<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Ültetvényszerű Fatermesztési Osztály,  
Püspökladányi Kísérleti Állomás, Püspökladány

<sup>2</sup>Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,  
Debrecen

## Kivonat

Az Észak-Amerikából származó simafenyővel (*Pinus strobus* L.) kapcsolatos honosítási kísérletek létesítése közel 60 éves múltra tekint vissza hazánkban. A faj faj ökológiai igényét tekintve kiegyenlített, humid éghajlatot kíván, ezáltal nem alkalmas marginálisnak tekinthető termőhelyek erdősítésére. A Tiszántúlon, elsősorban Debrecen térségében létesített simafenyvesek az erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) fatermési táblája szerinti IV és V. fatermés osztályba tartoznak. Adott korra vonatkoztatott fatérfogatuk nem tér el szignifikánsan az erdeifenyvesekétől. Vörös tölgygel (*Quercus rubra* L.) és erdeifenyővel elegyes állományaik sem eredményeztek gyakorlati jelentőséggel bíró fatermés többletet. A lokális klímaváltozás negatív hatásait is figyelembe véve, a simafenyő termesztési lehetőségei a vizsgált térségre vonatkozóan nem perspektivikusak.

**Kulcsszavak:** Egzóta fenyők, simafenyő, fatermés

## EXPERIENCES OF EASTERN WHITE PINE (*PINUS STROBUS* L.) CROP MANAGEMENT ON SANDY SOIL SITE CONDITIONS IN THE TRANS-TISZANIAN REGION

### Abstract

The establishment of naturalisation attempts with the North American Eastern white pine (*Pinus strobus* L.) has a history of almost 60 years in Hungary. The ecological requirements of this species are balanced, humid climates and it is not suitable for establishing new afforestation under marginal site conditions. Eastern white pine stands established in the Trans-Tiszanian region, mainly near Debrecen, belong to yield classes IV and V based on the yield table of the Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.). Their volume for a given age does not differ significantly from that of the Scotch pine stands. Eastern white pine stands mixed with northern red oak (*Quercus rubra* L.) and Scotch pine did not produce any surplus yield of practical importance. Even taking into account the negative effects of local climate change, the potential for the cultivation of Eastern white pine in the studied area is not promising.

**Keywords:** Exotic pines, *Pinus strobus* L., growing, yield

## BEVEZETÉS

Napjainkban hazánk erdőterületének több mint 40%-án nem őshonos fafajok tenyésznek (Standovár et al. 2022). Ennek okai sokrétűek, s ebből következően indokai sem foglalhatók össze egyetlen adekvátnak vélt válaszban. Ugyancsak széles körben ismert, hogy az erdőtelepítések, illetve erdőfelújítások csak hosszabb távon növelhetik értékelhető mértékben a rendelkezésre álló faanyag forrásokat. Ezzel egyidejűleg azonban, a termőhelyhez igazodó célszerű fafajmegválasztással, továbbá relatíve gyorsan nöövő, szelektált (nemesített) fajták alkalmazásával – az erdőgazdasági gyakorlatban rövidnek tekinthető 20-30 év alatt is – jelentősebb mértékű többlet-fatermés állítható elő.

E célkitűzések részbeni megvalósítása érdekében közel 60 évvel ezelőtt indultak meg hazánkban az egzóta fenyőfélékkel – elsősorban a duglászfenyővel [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) (Franco, 1950)] és a simafenyővel [*Pinus strobus* (Linnaeus, 1753)] – kapcsolatos honosítási kísérletek. E munka elsődleges helyszínei erdészeti arborétumok voltak, a későbbiek során az ország különböző tájain már üzemszerű termesztési kísérleteket is létesítettek az említett fenyőfélékkel (Harkai & Pál 1986, Harkai 1987). Az ültetvények szisztematikus hozamvizsgálatait megközelítőleg az 1990-es évek végéig végezték (Gergác 1998, Halupa 1998). A későbbiek során ez a munka – különböző okoknál fogva – megszakadt, vagyis az elmúlt több mint két évtizedben az egzóta fenyőfélékkel, így a simafenyő termesztés-fejlesztéséhez köthető kísérletes tevékenység gyakorlatilag minimálisra csökkent.

A simafenyő az első 5 tús fenyők között került Észak-Amerikából Európába, 1553-ban Franciaországba. Első példányait Nagy-Britanniában 1757-ben, Németországban pedig 1770-ben ültették. Gyorsan alkalmazkodott az európai klimatikus viszonyokhoz, így majdnem minden európai országban megjelent. Telepítése elsősorban fatermesztési célból történt (Blada & Popescu 2004).

Hazánkban 1814-ben a zirci arborétumban ültették az első simafenyő példányt (Majer 1968), jelenlegi területnagysága 416,9 ha, a legalább 30%-os elegyarányt elérő simafenyőt tartalmazó erdőrészek területe pedig 403,1 ha (NFK 2023). Az első honosítási kísérleteket a Délnyugat-Dunántúlon létesítették, tekintettel a fajra jellemző alapvető ökológiai sajátosságokra (lásd még a következő fejezetet). A későbbiekben az ország különböző tájain létesültek szórvány jelleggel, részben elegyes állományok egyik fafajaként üzemi kísérleti simafenyő erdősitések, így a Tiszántúl homoki termőhelyein is. Ez utóbbi térségben, 1967-1968-ban több helyen kiviteleztek erdősítéseket simafenyővel, többségében erdeifenyővel, vörös tölgygel, illetve akáccal elegyítve (Halupa 2008). A jelenlegi erdőtervi kimutatások alapján (NFK 2023) az ilyen jellegű erdősitések többsége a Nyírerdő Zrt. Debreceni Erdészetének területén található, koruk 40 és 60 év között változik. Mindebből következően jelen tanulmányunkban bemutatott vizsgálatok döntő többségét is az említett erdészet területén végeztük az alábbiak szerint:

- A simafenyő termesztésével összefüggő ökológiai és erdőművelési sajátosságok összefoglalása.
- A Tiszántúlhoz kötődő, simafenyőt részben vagy egészben tartalmazó erdőrészekben faállományfelvételek és értékelések végzése, valamint állásfoglalás az alkalmazott termesztési technológia jelenét és jövőjét illetően.

A vizsgálati eredmények összegzése pontosíthatja a simafenyő hazai alkalmazásának termőhelyi (ökológiai) feltételeit, különös tekintettel a homoki, marginális termőhelyek erdőtelepítéssel történő hasznosíthatóságára.



## A simafenyő fontosabb ökológiai és erdőművelési sajátosságai

A simafenyő Észak-Amerika keleti részén, Délkelet-Kanadában, a Nagy-tavak környékén és az Appalache-hegységben őshonos. Optimumát a Nagy-tavak térségében mély rétegű, homokos vályogtalajokon éri el. Itt gyakoriak elegyetlen állományai, másutt szürke luccal [*Picea glauca* (Moench) (Voss, 1907)], kanadai hemlokfenyővel [*Tsuga canadensis* (Linnaeus) (Carrière, 1855)] vagy lombos fajokkal képez elegyes állományokat. Pionír jellegénél fogva előszeretettel telepszik meg felhagyott mezőgazdasági területeken. Nagy elterjedési területe ellenére a fajon belüli differenciálódása nem jelentős (Gencsi & Vancsura 1992, Hepp et al. 2015).

A termőhellyel szemben toleráns, lápos talajon vagy üde homokon egyaránt előfordul, azonban az erősen kötött, levegőtlen talajokat kerüli. Vékony tűi erősen párologtatnak, ezért az alacsony relatív páratartalmú területeket kerüli. Ebből is következően nálunk az erdő-sztyepp klímában nem javasolt a termesztése (Járó 1966, Szőnyi 1966, Burgess & Wetzel 2000).

Gyors növekedésű, fiatalkori növekedési erélye minden európai fenyőfajt felülmúl. A megfelelő gyökérzet és hajtásrendszer kifejlesztése után (6-8 év), megfelelő termőhelyi viszonyok megléte esetén 50-60 cm évi magassági növedéket produkál, az átmérőnövekedés mértéke az évi 2,5 cm-t is elérheti. 30 éves kort követően lassul a növekedés intenzitása, és többé-kevésbé kiegyenlítetté válik. 10-15 éves korban már szórványosan virágzik, és szabad állásban 20-30 éves kortól rendszeresen terem (zárt állományban valamivel később). Nálunk 3-5 évenként jelentkezik bőségesebb toboztermése (Ostrander 1971, Gencsi & Vancsura 1992, Wendel & Smith 1990).

Csemetenevelése gondos szakértelmet kíván, a csemeték egyéves korban iskolázhatók, és kétéves korban akár mint magágyi, akár mint iskolázott csemeték használhatók fel (Bondor & Gál 1976). Az eddigi termesztési technológiai tapasztalatok alapján a simafenyőt célszerűbb csak kisebb területeken, 0,5 ha, maximum 1,0 hektáros foltokban ültetni. Csoportos elegyítésben erdeifenyővel, síkvidéki termőhelyeken akáccal [*Robinia pseudoacacia* (Linnaeus, 1753)] és vörös tölgygel [*Quercus rubra* (Linnaeus, 1753)] (Nyírség) is elegyíthető. Általános tapasztalat, hogy az egzóta fenyőket nem célszerű szálanként elegyíteni. Az ilyen elegyű állományokban a simafenyő a vad számára újdonságnak számít, szinte minden egyedet felkeres, megrágja és tönkreteszi azokat (Halupa 2008).

A fentebb már említett vadkaron kívül a simafenyőnek viszonylag kevés károsítója van, melyek közül kiemelendő a hólyagrozsdá [*Cronartium ribicola* (J.C. Fischer, 1872)], amely egy gazdacserés kórokozó, gazdanövényei pedig a különböző ribiszke fajok (*Ribes* spp.), a simafenyő köztes gazdaként van jelen. Elsősorban a nedvesebb periódusokban jelentkezik. Főként rudaskorú simafenyvesekben jelentkezhet még a gyökérrontó tapló [*Heterobasidion annosum* (Fr.) (J.O. Brefeld, 1888)], továbbá a gyűrűs tuskógomba [*Armillaria mellea* (Vahl) (P. Kummer., 1871)]. Nagymérvű károsításuk a vágásérettségi kor csökkentését (35-40 éves korra) is eredményezhetik (Halupa 2008, Schulz et al. 2018).

A simafenyő fája egyenletes szövetű, jól feldolgozható. Faanyaga többek között épületipari alapanyag, valamint papír- és cellulózipari feldolgozásra is alkalmas. A légszáraz fa gyantatartalma 6,5%, e tekintetben valamennyi hazai fenyőfélét túlszárnyalja (Dérföldi 1966, Molnár 2008).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A bevezető részben megfogalmazott célkitűzésekhez igazodóan, az adatgyűjtésnek két metodikáját alkalmaztuk:

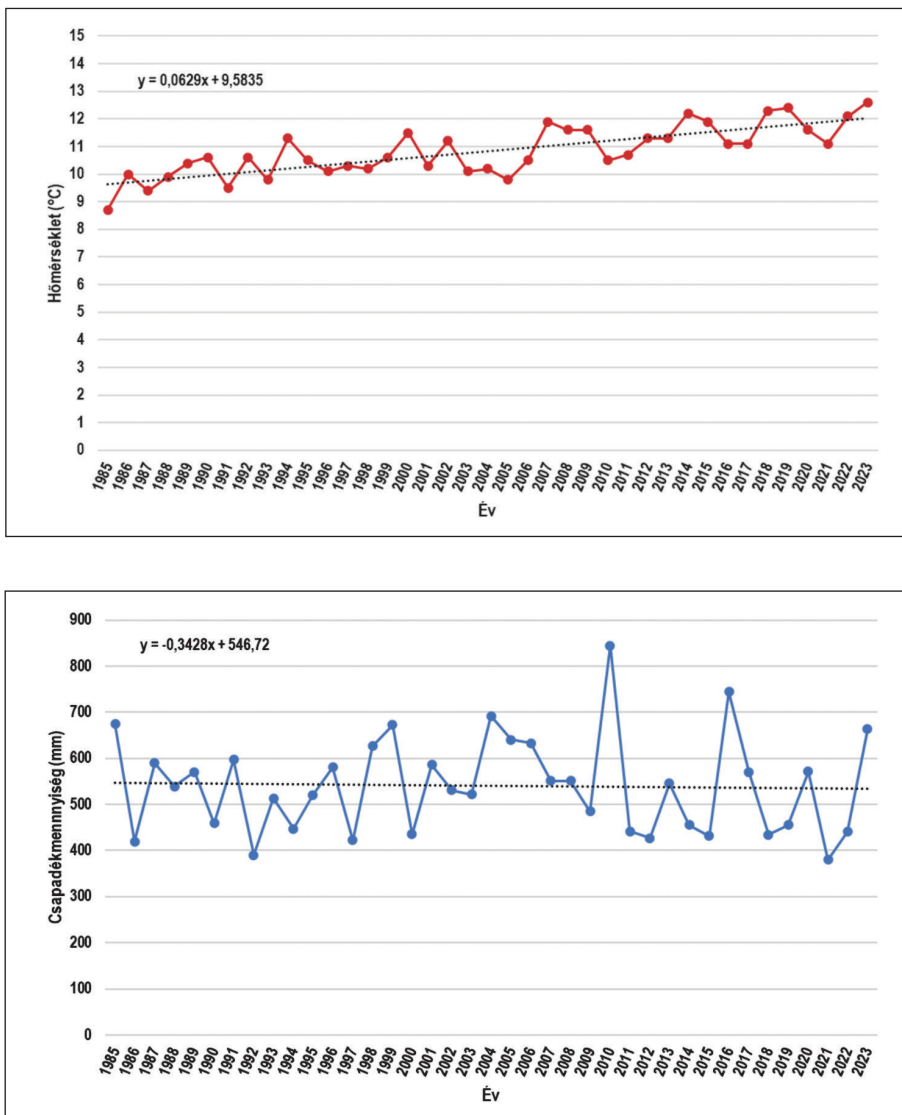
(1) Az NFK rendelkezésünkre bocsájtott adatbázis alapján azon erdőrészeket kigyűjtése, ahol a simafenyő elegyaránya nagyobb mint 30%. Az érintett faállományok kor, magasság és mellmagassági átmérő szerinti megoszlásának tájékoztató jellegű ábrázolása.

(2) 2024 tavaszán a Nyírerdő Zrt. Debreceni és Halápi Erdészetének területén 6 erdőrészetben, eltérő korú, elegyetlen, illetve különböző elegyet alkotó simafenyő állományrészekben kijelölt 20×25 m nagyságú mintaparcellákon (1. táblázat), törzsenkénti felvétellel a következő faállomány-szerkezeti tényezők felvétele, illetve meghatározása: az egészállomány átlagos magassága ( $H_g$ ), mellmagassági átmérője ( $D_g$ ), átlagos körlapja ( $g$ ), átlagfa-térfogata ( $v$ ), hektáronkénti körlapösszege ( $G$ ), fatérfogata ( $V$ ) és törzsszáma ( $N$ ). A  $v$  értékek meghatározásához Sopp & Kolozs (2013) által erdeifenyőre kidolgozott fatérfogat függvényt használtuk. Az átlagfa-térfogat értékek összehasonlítása során, a kontroll fajokként tekintett erdeifenyő átlagfa-térfogatát a simafenyő állományok magassági és mellmagassági átmérő adatai alapján a vonatkozó fatérfogat tábla alapján határoztuk meg. Matematikai – statisztikai elemzéssel (kétmintás  $t$ -próba),  $p = 5\%$ -os tévedési szinten vizsgáltuk a két adatsor lehetséges eltéréseinek szignifikancia szintjét. Két erdőrészetben vizsgáltuk a simafenyőnek erdeifenyővel, illetve vörös tölgyvel egyes állományrészeit, hozamösszehasonlítás céljából.

1. táblázat: A vizsgált erdőrészekek főbb jellemzői  
Table 1: Major information of the studied forest subcompartments

| Erdőrészet   | Termőhelytípus-változat<br>(erdőterv alapján) | Kor<br>(év) | Mintaparcellák sorszáma,<br>fafaj, elegyarány |
|--------------|-----------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------|
| Debrecen504D | KTT-VFLEN-HH-KMÉ-H                            | 43          | 1: SF 100%,<br>2: SF 100%                     |
| Debrecen551M | KTT-VFLEN-HH-KMÉ-H                            | 45          | 1: SF 100%                                    |
| Debrecen515I | KTT-IDŐSZ-HH-KMÉ-H                            | 46          | 1: SF 100%                                    |
| Debrecen46A  | KTT-VFLEN-RBE-KMÉ-H                           | 46          | 1: SF 100%,<br>2: SF 100%                     |
| Debrecen543G | KTT-VFLEN-HH-MÉ-H                             | 48          | 1: SF 84%, VT 16%,<br>2: VT 100 %             |
| Debrecen376A | KTT-VFLEN-HH-KMÉ-H                            | 56          | 1: EF 100 %,<br>2 SF 87%, EF 13%              |

A vizsgált térségben, a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. debreceni meteorológiai állomásának sokéves (1985–2023) adatsora alapján (KSH, 2024), az éves átlagos csapadékmennyiség 540 mm, az évi átlagos középhőmérséklet 10,8 °C. Az elmúlt 10 év (2014–2023) átlaga előbbi esetében 25 mm-rel kevesebb (515 mm), utóbbi értéke pedig 1 °C-kal több (11,8°C). A lehullott csapadék mennyiségének alakulásában csökkenő vagy növekvő trend nem figyelhető meg, ugyanakkor a napjainkban jelentkező szélsőséges csapadékeloszlás fokozódó problémákat okoz. Az évi átlagos középhőmérséklet esetében egyértelmű növekvő tendencia rajzolódik ki (1. ábra). A fentiek alapján kérdéses, hogy a vizsgált erdőrészek napjainkban is a KTT klímába tartoznak-e.

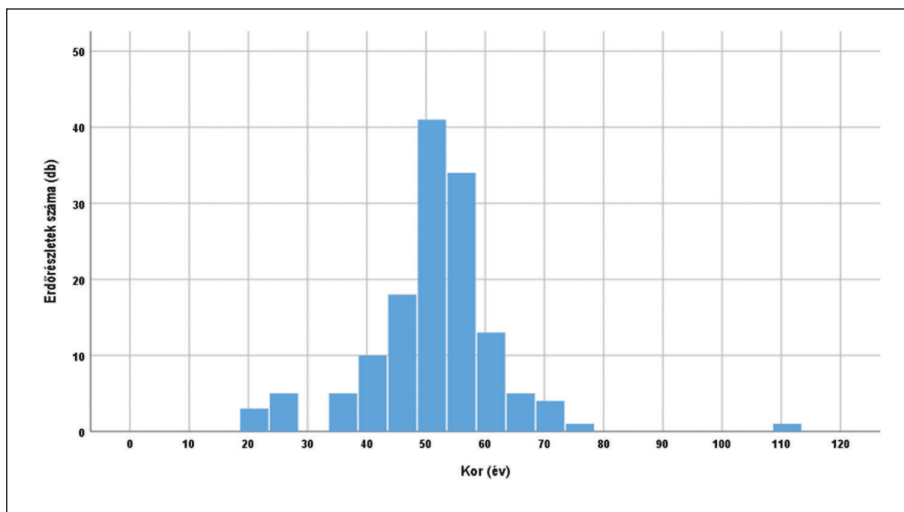


1. ábra: A vizsgált területek meteorológiai jellemzői (KSH 2024)

Figure 1: Meteorological data of the study sites (KSH 2024)

## EREDMÉNYEK

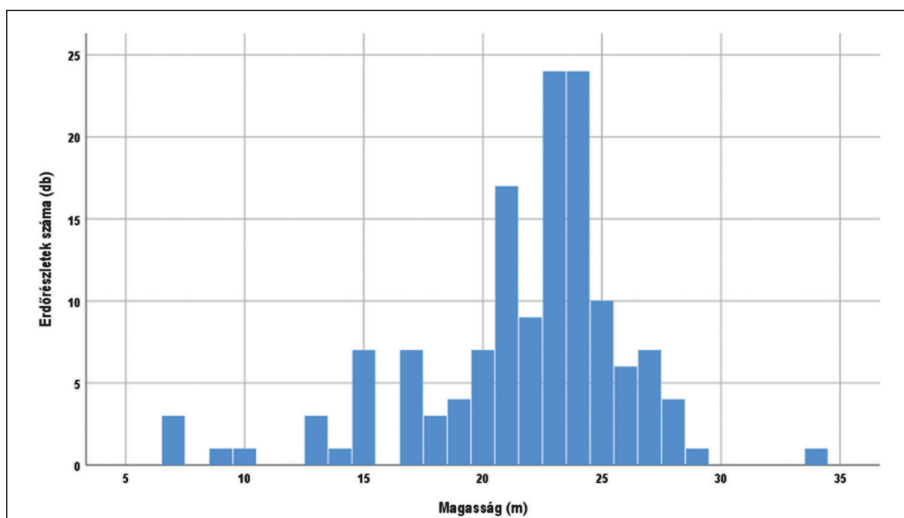
A hazai simafenyő állományok közül 140 db azon erdőrésztetek száma, ahol a vizsgált fafaj elegyaránya 30%, vagy annál több. Kor szerinti megoszlásuk a 2. ábrán látható. A simafenyvesek statisztikai átlagos életkora 51 év. A legfiatalabb 21, még a legidősebb állomány 110 éves.



2. ábra: Simafenyő állományok (n=140) kor szerinti megoszlása (elegyarány >30%) (NFK 2023)

Figure 2: Distribution of Eastern white pine stands (n=140) by age (mixture proportion >30%) (NFK 2023)

Magasság szerinti megoszlásukat is vizsgáltuk. Magassági értékük 7–34 m között változik. Az állományok statisztikai átlagos magassága 21,7 m (3. ábra).

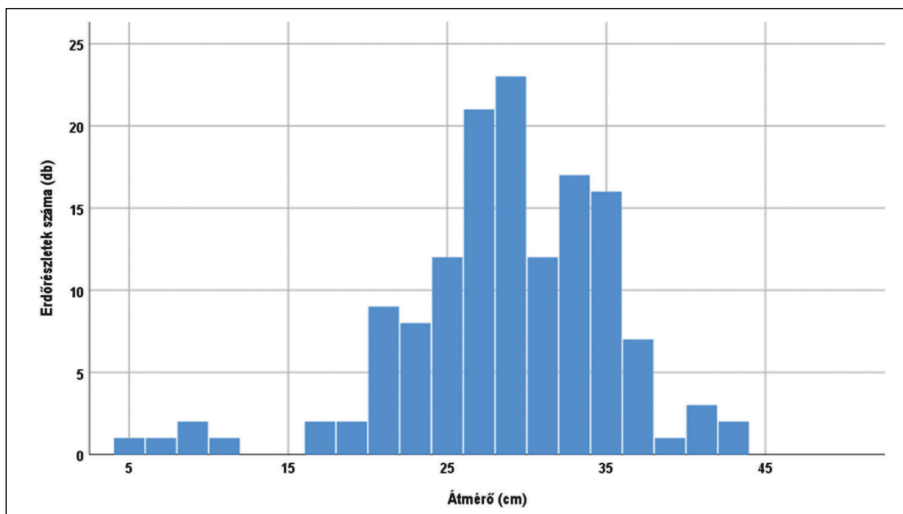


3. ábra: Simafenyő állományok (n=140) magasság szerinti megoszlása (elegyarány >30%) (NFK 2023)

Figure 3: Distribution of Eastern white pine stands (n=140) by height (mixture proportion >30%) (NFK 2023)



A magyarországi simafenyő állományok átlagos mellmagassági átmérője 5 és 43 cm között alakul. A statisztikai átlag 28,20 cm (4. ábra).



4. ábra: Simafenyő állományok (n=140) átmérő szerinti megoszlása (elegyarány >30%) (NFK 2023)

Figure 4: Distribution of Eastern white pine stands (n=140) by DBH (mixture proportion >30%) (NFK 2023)

A mintaparcellákban történő törzsenkénti felvétel eredményét, a főbb faállomány-szerkezeti tényezőket a 2. táblázatban foglaltuk össze (1 hektárra vetítve). A vizsgált simafenyő állományok átlagos magassága ( $H_g$ ) 14,9–18,1 m, átmérőjük ( $D_g$ ) 21,1–27,0 cm között változott. A magas törzsszám miatt az átlagfa-térfogat ( $v$ ) értéket tekintettük mérvadónak. A vizsgált simafenyvesek átlagfa-térfogata 0,309–0,532 m<sup>3</sup> között változott.

2. táblázat: A vizsgált simafenyő állományok főbb dendrometriai jellemzői

Table 2: Dendrometric characteristics of the studied Eastern white pine stands

| Mintaparcella  | Fafaj | Kor (év) | N (fa ha <sup>-1</sup> ) | H <sub>g</sub> (m) | D <sub>g</sub> (cm) | G (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) | V (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | v (m <sup>3</sup> ) | FTO  |
|----------------|-------|----------|--------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|------|
| Debrecen504D-1 | SF    | 43       | 1220                     | 17,5               | 22,5                | 48,52                                | 461,62                               | 0,378               | IV.  |
| Debrecen504D-2 | SF    |          | 1360                     | 18,1               | 22,3                | 52,92                                | 513,41                               | 0,378               | IV.  |
| Debrecen551M   | SF    | 45       | 940                      | 16,4               | 23,7                | 41,37                                | 379,37                               | 0,404               | IV.  |
| Debrecen515I   | SF    | 46       | 1500                     | 17,5               | 22,1                | 57,57                                | 548,66                               | 0,366               | IV.  |
| Debrecen46A-1  | SF    | 46       | 880                      | 14,9               | 27,1                | 50,58                                | 444,80                               | 0,505               | V.   |
| Debrecen46A-2  | SF    |          | 680                      | 16,4               | 27,0                | 39,03                                | 361,75                               | 0,532               | IV.  |
| Debrecen543G-1 | SF    | 48       | 480                      | 15,6               | 21,1                | 16,71                                | 148,49                               | 0,309               | V.   |
| Debrecen543G-1 | VT    |          | 220                      | 17,8               | 30,8                | 16,37                                | 157,09                               | 0,714               | III. |
| Debrecen543G-2 | VT    |          | 700                      | 21,0               | 25,5                | 35,64                                | 400,90                               | 0,573               | V.   |

A 2. táblázat folytatása / Table 2: continued

| Mintaparcella  | Fafaj | Kor (év) | N (fa ha <sup>-1</sup> ) | H <sub>g</sub> (m) | D <sub>g</sub> (cm) | G (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) | V (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | v (m <sup>3</sup> ) | FTO |
|----------------|-------|----------|--------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-----|
| Debrecen376A-1 | EF    | 56       | 360                      | 17,4               | 32,7                | 30,20                                | 293,29                               | 0,815               | V.  |
| Debrecen376A-2 | EF    |          | 100                      | 20,0               | 35,6                | 9,96                                 | 105,93                               | 1,059               | IV. |
| Debrecen376A-2 | SF    |          | 480                      | 17,2               | 23,9                | 21,54                                | 204,37                               | 0,426               | V.  |

Megjegyzés: A fatermési osztályok (FTO) a simafenyő (SF) és erdeifenyő (EF) esetében Solymos (1993) erdeifenyőkre, a vörös tölgyeseknél (VT) Rédei et al. (2004) által kidolgozott fatermési táblák alapján kerültek meghatározásra.

A táblázat adatsorainak többsége extrém állományszerkezeteket tükröz, részben az elmaradt nevelővágások miatt. A relatíve magas hektáronkénti törzsszámok mellett is jelentős a mellmagassági átmérő növekedési erélye, nagyjából eltérően a többi, hazánkban termesztett fenyőféléltől.

A vizsgálatok és elemzések alapján az alábbi főbb megállapítások tehetők:

1. A Solymos (1993) által az erdeifenyvesekre kidolgozott fatermési tábla alapján a vizsgált simafenyvesek a IV. és V. fatermési osztályba tartoznak.
2. Ahogy arra már utaltunk, a nevelővágások (törzsszámcsoökkentések) részbeni elmaradása miatt a közép-időskorú simafenyő állományokban adott korra vonatkozóan igen magas (1200 – 1500 db/ha) hektáronkénti törzsszám található. Ez eredményezte többek között a kiemelkedően magas hektáronkénti körlapösszeget és az ebből következő kiemelkedően magas fatérfogat értékeket is.
3. Fentiek alapján jutottunk arra a következtetésre, hogy a simafenyő állományok, illetve a metodikai részben leírtak szerint a vonatkozó erdeifenyvesek átlagfa – értékeinek matematikai – statisztikai elemzését végezzük el, az említett két fafaj hozamviszonyainak összevetése céljából (a 2. táblázat első 7 sorának simafenyő állományait alapul véve). A statisztikai elemzés főbb paraméterei a következők:

| Átlagfa-térfogat értékek (m <sup>3</sup> ) |                    |
|--------------------------------------------|--------------------|
| SF                                         | EF                 |
| 0,38                                       | 0,40               |
| 0,38                                       | 0,37               |
| 0,40                                       | 0,41               |
| 0,37                                       | 0,36               |
| 0,51                                       | 0,49               |
| 0,53                                       | 0,52               |
| 0,31                                       | 0,31               |
| $\bar{x}_1 = 0,41$                         | $\bar{x}_2 = 0,41$ |
| $s_1 = 0,079$                              | $s_2 = 0,073$      |
| $n_1 = 7$                                  | $n_2 = 7$          |
| $s_1^2/s_2^2 = 1,172 < F_{0,05}$           |                    |

Megjegyzés: A szórások ( $s_1$  és  $s_2$ ) között 95%-os biztonsági szinten az eltérés nem lényeges, a számtani közepek pedig megegyeznek

4. Hasonló jellegű eredményeket közöl Halupa (2008) a Debrecen 428A erdőrészletben végzett vizsgálata alapján, ahol 24 és 29 éves korú simafenyvesben az átlagfa-térfogat 0,12, illetve 0,20 m<sup>3</sup>, míg az erdeifenyvesben ugyanezen korokra vonatkoztatva 0,12, illetve 0,19 m<sup>3</sup> volt.
5. A Debrecen környéki simafenyvesek egy része vörös tölgygel elegyes. A vonatkozó táblázati adatsorok azt mutatják, hogy az ilyen típusú elegy (esetünkben SF 84%, VT 16%) hektáronkénti fatérfogata elmarad az elegyetlen vörös tölgy állományától (példánkban a különbség 25%).
6. Az erdeifenyővel elegyes simafenyves (esetünkben SF 87%, EF 13%) és az elegyetlen erdeifenyves hektáronkénti fatérfogata közötti különbség csekélynek mondható, alig több mint 5% az elegyes állományrész javára.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az egzóta fenyőfélék magyarországi termesztési lehetőségeinek szisztematikus vizsgálata közel 60 évre nyúlik vissza. Az ország különböző régióiban, részben szakirodalmi forrásokra támaszkodva, továbbá az adott fajok ökológiai igényeihez igazodóan létesültek honosítási kísérletek. Mindezek figyelembevételével, az észak-amerikai Nagy-tavak környékén őshonos simafenyő magyarországi meghonosításával kapcsolatban elsősorban a Nyugat-Dunántúl, illetve az Északi-középhegység egyes régiói jöhetnek számításba. Az Alföld klimatikus viszonyai kezdetektől fogva kétségeket ébresztettek a tekintetben, hogy e fajjal érdemes-e egyáltalán foglalkozni ebben a térségben. A tanulmányban közölt vizsgálati eredményeink azt mutatják, hogy a Tiszántúl homoki termőhelyein, ahol a kiegyenlített humid éghajlat feltételei nagyrészt hiányoznak, továbbá a lokális klímaváltozás kedvezőtlen hatásai a jövőt illetően is meghatározók lesznek, elegyetlen simafenyvesek létesítésének ökológiai feltételei nem adóttak. Vizsgálataink azt is igazolták, hogy az ebben a régióban tenyésztő simafenyvesek átlagfa-térfogata nem tér el szignifikánsan az erdeifenyvesekétől. Az erdeifenyővel, illetve vörös tölgygel elegyes simafenyvesek fatérfogata nem mutatott szignifikáns többletet az ugyanilyen fajok elegyetlen állományaihoz képest. Mindezek alapján a simafenyő termesztési lehetőségei a vizsgált térségre vonatkozóan nem perspektivikusak.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők ezúton szeretnék köszönetüket kifejezni az NFK Erdészeti Főosztályának a simafenyő országos adatbázisa rendelkezésünkre bocsájtásáért. Ugyancsak köszönet illeti a Nyírerdő Zrt. Debreceni és Halápi Erdészetének munkatársait, külön kiemelve Juhász Lajos és Asztalos István igazgató uraknak a terepi konzultációk során nyújtott közreműködését.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

Blada I. & Popescu F. 2004: Genetic research and development of five-needle pines (*Pinus* subgenus *Strobus*) in Europe: an overview. In: Snieszko R.A., Samman S., Schlarbaum S.E. & Kriebel H.B. (eds.): Breeding and genetic resources of five-needle pines: growth, adaptability, and pest resistance. IUFRO Working Party 2.02.15.,

- 2001 July 23-27, Medford, OR, USA. Proceedings RMRS-P-32. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 51-60.
- Bondor A. & Gál J. 1976: Erdészeti szaporítóanyag-termelés. Mezőgazdasági könyv Kiadó, Budapest.
- Burgess D. & Wetzel S. 2000: Nutrient availability and regeneration response after partial cutting and site preparation in eastern white pine. *Forest Ecology and Management* 138(1-3): 249–261. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00400-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00400-X)
- Dérföldi A. 1966: Fenyveseink használata. In: Keresztesi Béla (ed.): A fenyők termesztése. Akadémiai Kiadó, Budapest, 487–499.
- Gencsi L. & Vancsura R. 1992: Dendrológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Gergác J. 1998: Egzóta fenyők hasznosításának tapasztalatai. *Erdészeti Kutatások* 88: 237–250.
- Halupa L. 1998: A simafenyő termesztésének lehetőségei a Nyírerdő Rt. területén, különösen tekintettel a pusztuló erdeifenyő faállományok esetleges fafaj cseréjére. Kutatási jelentés, ERTI, Budapest.
- Halupa L. 2008: Egzóta fenyők ültetvényszerű termesztése. In: Führe E., Rédei K. & Tóth B. (eds.): Ültetvényszerű fatermesztés 2. Agroinform Kiadó, Budapest, 34–43.
- Harkai L. & Pál M. 1986: A simafenyő ültetvényes termesztéséről. *Erdészeti Kutatások* 78: 71–78.
- Harkai L. 1987: Duglászfenyő hálózati kísérlet értékelése. *Erdészeti Kutatások* 79: 33–38.
- Hepp E.T., Vimmerstedt P.J., Smalley W.G. & McNab H.W. 2015: Estimating yields of unthinned eastern white pine plantations from current stocking in the Southern Appalachians. *Forest Science* 61(1):114–122. <https://doi.org/10.5849/forsci.13-620>
- Járó Z. 1966: Az egzóta fenyők termőhelyigénye. In: Keresztesi Béla (ed.): A fenyők termesztése. Akadémiai Kiadó, Budapest, 392–428.
- KSH 2024: [https://www.ksh.hu/stadat\\_files/kor/hu/kor0056.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0056.html) 2024. 05. 14.
- Majer A. 1968: Magyarország erdőtársulásai: az erdőművelés tan alapjai. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Molnár S. 2008: Az ültetvényszerűen termesztendő fajok fájának minősége és hasznosítása. In: Führe E., Rédei K. & Tóth B. (eds.): Ültetvényszerű fatermesztés 2. Agroinform Kiadó, Budapest, 153–191.
- NFK 2023: [https://nfk.gov.hu/erdeszeti\\_foosztaly](https://nfk.gov.hu/erdeszeti_foosztaly) Letöltve: 2024. 05. 14.
- Ostender D.M. 1971: Eastern white pine. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington D.C.
- Rédei K., Veperdi I. & Csiha I. 2004: Vöröstölgyesek fatermése a Nyírség erdőgazdasági tájban. *Erdészeti Kutatások* 91: 51–60.
- Solymos R. 1993: Erdeifenyő országos fatermési tábla. *Erdészeti Kutatások* 82–83/2: 357–382.
- Schulz A.N., Mech A.M., Asaro C., Coyle D.R., Cram M.M., Lucardi R.D. & Gandhi K.J. 2018: Assessment of abiotic and biotic factors associated with eastern white pine (*Pinus strobus* L.) dieback in the Southern Appalachian Mountains. *Forest Ecology and Management* 423: 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.021>
- Sopp L. & Kolozs L. (eds.) 2013: Fatömegszámítási táblázatok (4. kiadás). NÉBIH, Erdészeti Igazgatóság, Budapest.
- Standovár T., Csóka P., Hirka A., Szabados A. & Csóka Gy. 2022: Erdők a világban, Európában és Magyarországon (OEE Szaktudás Füzetek 2.). Országos Erdészeti Egyesület, Budapest.
- Szőnyi L. 1966: Az egzóta fenyők termesztésének különleges kérdései. In: Keresztesi Béla (ed.): A fenyők termesztése. Akadémiai Kiadó, Budapest, 386–392.
- Wendel G.W. & Smith C.H. 1990: Eastern white pine. In: Burns R.M. & Honkala B.H. (eds.): vol. 1. Conifers. Agriculture Handbook 654, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D.C., 476–488.

Érkezett: 2024. 05. 17.

Közlésre elfogadva: 2024. 08. 30.



# A HAZAI ERDÉSZETI ÉS FAIPARI SEKTOR SZÉNMERLEGÉNEK ELŐREJELZÉSE AZ ERDŐIPARI SZÉN MODELL FELHASZNÁLÁSÁVAL

Borovics Attila<sup>1</sup>, Király Éva<sup>1</sup> és Kottek Péter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet

<sup>2</sup>Agrárminisztérium Erdőrendezési Főosztály

## Kivonat

Az erdőalapú klímamitigáció napjainkban egyre inkább kulcsszerepet kap a nemzetközi klímapolitikában, így egyre fontosabbá válik az ágazat szénmegkötő képességét befolyásoló mechanizmusok megértése. Tanulmányunkban különböző erdőkezelési stratégiák klímamitigációs hatását értékeltük. Létrehoztunk egy új szénforgalmi modellt, az Erdőipari Szén Modellt (Forest Industry Carbon Model, FICM), amely az erdei biomassa, az elhalt szerves anyagok, a talaj és a fatermékek szénegyenlegét, valamint a termék- és energiahelyettesítések útján elkerült kibocsátásokat számszerűsíti. A modell segítségével a magyar erdőipar széndioxid mérlegét három forgatókönyv szerint jeleztük előre. A Business as Usual (BAU) scenárióban változatlan erdőtelepítési és fakitermelési szinteket feltételezünk. Az Extenzifikációs scenárióban azt feltételeztük, hogy az erdőtelepítések és a fakitermelés mértéke a felére csökken. Az Intenzifikációs forgatókönyvben pedig az erdőtelepítés növekedését, megnövelt ipari választékarányt, és a fakitermelés fokozatos növekedését vettük alapul. Eredményeink azt mutatják, hogy az Intenzifikációs forgatókönyvet jellemzi a legnagyobb nettó szénmegkötés és itt érvényesül a maximális termék- és energiahelyettesítési hatás. A nettó erdőipari szénegyenleg 2050-re a BAU scenárióban  $-8447$  kt CO<sub>2</sub> egyenérték, az Extenzifikációs scenárióban  $-7011$  kt CO<sub>2</sub> egyenérték, míg az Intenzifikációs scenárióban  $-22\,135$  kt CO<sub>2</sub> egyenérték szintet ér el. Bár a termékhelyettesítés hatása a LULUCF szektorban nem számolható el, az ipari és energetikai kibocsátások csökkenésének kedvező hatása megjelenik a nemzeti üvegházgáz mérlegben. A modellezési eredmények azt mutatják, hogy az EU által Magyarország számára kijelölt 2030-as LULUCF szénmegkötési célérték az Intenzifikációs scenárióban elérhető. Prognózisunk szerint a fahasználat drasztikus korlátozása csupán rövid távú megoldást jelenthet, kedvező hatásai 2050-re megszűnnek, és a BAU forgatókönyvhöz képest többletkibocsátásokat eredményez.

A cikk a Borovics et al. 2024 (Projection of the Carbon Balance of the Hungarian Forestry and Wood Industry Sector Using the Forest Industry Carbon Model) eredeti közlés részben módosított fordítása.

**Kulcsszavak:** CO<sub>2</sub>, HWP, erdőkezelési forgatókönyvek, klímamitigáció, termékhelyettesítés, energiahelyettesítés

## PREDICTING CARBON BALANCE IN THE HUNGARIAN FORESTRY AND WOOD INDUSTRY SECTOR VIA THE FOREST INDUSTRY CARBON MODEL

### Abstract

As forest-based climate change mitigation gains greater importance within international climate policy, understanding the mechanisms influencing the carbon offsetting capacity of the sector becomes increasingly important. Our study evaluates the climate benefits of contrasting forest management strategies: one focuses on reducing harvest and expanding forest carbon stocks, while the other aims to increase harvest to enhance carbon uptake, wood product carbon pools, and substitution effects. We analyse the carbon balance of the Hungarian forest industry under three scenarios: the business as usual (BAU) scenario with no changes in current harvest and afforestation levels, the extensification scenario with reduced harvest and afforestation levels, and the intensification scenario involving increased afforestation, improved wood assortments, and gradually increasing timber extraction which is still meeting sustainability criteria. We introduce the Forest Industry Carbon Model (FICM), a novel carbon accounting tool encompassing various carbon pools including forest biomass, dead organic matter, soil, harvested wood products, and emissions avoided through product and energy substitution. Our findings indicate that the intensification scenario performs the highest net removals and optimized product and energy substitution effects. By 2050, the net carbon balance of the forest industry will reach  $-8,447$  kt CO<sub>2</sub> eq in the BAU scenario,  $-7,011$  kt CO<sub>2</sub> eq in the extensification scenario and  $-22,135$  kt CO<sub>2</sub> eq in the intensification scenario. Although substitution effects are not accounted for under the land-use, land-use change, and forestry (LULUCF) sector in Greenhouse Gas Inventories, emission reductions in the industry and energy sectors positively influence the national carbon balance. Our projections reveal that Hungary can meet the 2030 LULUCF greenhouse gas removal target set by EU legislation under the intensification scenario, necessitating significant innovation within the wood sector. In comparison, forest non-utilization proves to be a short-term solution, with its favourable effects diminishing by 2050 and leading to additional emissions as compared to the BAU scenario.

This article is based on the original publication by Borovics et al. 2024 (Projection of the Carbon Balance of the Hungarian Forestry and Wood Industry Sector Using the Forest Industry Carbon Model).

**Keywords:** CO<sub>2</sub>, HWP, forest management scenarios, climate change mitigation, product substitution, energy substitution

## BEVEZETÉS

Az erdőalapú klímamitigáció a Párizsi Megállapodás és az EU klímátörvényének kulcseleme (Friedlingstein et al. 2019, Grassi et al. 2017, EU/2021/1119). A nettó nulla kibocsátási cél elérése csak akkor lesz megvalósítható, ha az elkerülhetetlen kibocsátásokat ökoszisztéma alapú szénmegkötésekkel vagy műszaki megoldások segítségével ellensúlyozzuk (Fankhauser és mtsai 2022, Levin et al. 2020, Rogelj et al. 2021). Az erdők megkötik a széndioxidot (CO<sub>2</sub>) a légkörből, és tárolják a szén a biomasszában, a holt szerves anyagokban és a talajban. A hosszú élettartamú fatermékek (HWP) pedig erdőn kívüli széntárolást tesznek lehetővé, emellett faalapú termékek használatával a termék- és energiahelyettesítő hatásuk révén jelentős fosszilis CO<sub>2</sub> kibocsátásokat kerülhetünk el az energetikai és ipari szektorokban (Köhl és Martes 2023, Korosuo et al. 2023). A fosszilis energia bioenergiával történő helyettesítése fontos lépés az EU által előírt biogazdaság felé (Korosuo et al. 2023, Borovics et al. 2023). A szénmegkötés, széntárolás és a szubsztitúciós hatások együttesen teremtik meg az erdőalapú ágazat teljes klímamitigációs potenciálját. A hosszú távra beépített faanyagban tárolt szén, illetve a bioenergia fontos szerepe miatt az erdészeti és faipari ágazatot együttesen gyakran erdőiparként említik a nemzetközi szakirodalomban (Lipiäinen et al.

2022, Hurmekoski et al. 2022, Borovics és Király 2023 a, b). Ebben a cikkben az „erdőipar” fogalmat az erdészet és a faipar elválaszthatatlan, egymásra épülő anyagáramának hangsúlyozására használjuk. Ezzel a kifejezéssel azonban nem az erdei ökoszisztéma iparosítását célozzuk meg, hiszen elismerjük és hangsúlyozzuk, hogy az erdő sokkal több, mint egy szénnyelő vagy szénraktár. Valójában a legösszetettebb szárazföldi ökoszisztéma, mely számos létfontosságú funkciót hordoz, amelyek messze túlmutatnak az éghajlatváltozás mérséklésének egyoldalú szempontján.

Az erdőipar klímamitigációs teljesítményének tágabb ökológiai és gazdasági kontextusba történő integrálását számos jogi aktus szolgálja, melyek egyben lehetőséget teremtenek a mitigációs hatások fokozását célzó üzleti megoldások előmozdítására is (Korosuo et al. 2023). A természet-helyreállítási törvényjavaslat (COM(2022)304), az EU 2030-ig szóló új erdőstratégiája (COM(2021)572), az új talaj-egészségügyi törvényre vonatkozó javaslatok (COM(2021)699, Európai Bizottság 2023), az erdőmonitoring és stratégiai tervezés új keretrendszere (Európai Bizottság 2022), a fenntartható szénciklusokra (COM(2021)800) és a széndioxid eltávolítás tanúsítására vonatkozó rendelettervezetek (COM(2022)672), valamint a LULUCF rendelet (EU/2018/841) kiterjed az erdei ökoszisztémák védelmére és a teljes erdőipari klímamitigációs keretrendszer szabályozására.

Azonban annak ellenére, hogy a politikai figyelem egyre inkább az erdőalapú klímamitigációra irányul, az elmúlt években az EU erdeinek szénmegkötése a klímacélokkal ellentétes pályára állt, és folyamatosan és egyértelműen csökkenő tendenciát mutat (Korosuo et al. 2023). Korosuo és munkatársai (2023) szerint ezt a nemkívánatos trendet elsősorban az európai erdők folyamatos előregedése indukálja. Említett szerzők a Carbon Budget Modell felhasználásával előrejelezték az európai erdők várható jövőbeli szénegyenlegét, és eredményeik szerint a szénelnyelés csökkenő tendenciája megmarad, így Európa erdei egyre nagyobb mértékben letérnek a 2030-as célérték eléréséhez számukra kijelölt útról. A nemkívánatos tendencia ellensúlyozására két lehetősége nyílik az erdőgazdálkodónak: vagy csökkenti a fakitermelést az erdő szénkészletének növelése érdekében – vagy növeli a kitermelést és minél több fatermék előállítását célozza meg a hosszútávú széntárolás és a helyettesítési hatások maximalizálása érdekében (Martes és Köhl 2022, Borovics 2022), ami az erdőn kívül a szénmegkötés növelését eredményezi.

Az erdők előregedésének fent említett folyamata hazánk erdeit is jellemzi. Kottek és munkatársai (2023 a) legtöbb fafajunk esetében folyamatosan növekvő vágáskort mutattak ki az Országos Erdőállomány Adattár (OEA) adatai alapján. Míg Magyarországon az éves fakitermelés mennyisége évtizedek óta jóval a folyónövedék szintje alatti 7–8 millió m<sup>3</sup>-es szinten mozog, addig Borovics és munkatársai (2023) megállapították, hogy a hazai túltartott állományok élőfakészlete az 1980-as évektől folyamatosan növekszik és 2022-ben több mint 45 millió m<sup>3</sup> volt. Túltartottnak akkor minősül egy állomány, ha tényleges kora meghaladja az erdőtervezők által előírt vágásérettségi korát és a törvényi előírásoknak megfelelően kitermelhető lenne. Fontos kiemelni, hogy a magas természetvédelmi értékű területek, például az erdőrezervátumok, illetve az örökzöld és a faanyagtermelést nem szolgáló üzem módú területek soha nem minősülnek túltartottnak a vizsgálatban, ezekhez ugyanis nem rendel vágásérettségi kort az adatbázis. Borovics és munkatársai (2023) növekvő fahasználati potenciált prognosztizálnak a 2024–2100 közötti időszakra a vágáskort elérő állományok területének növekedése miatt. Király és munkatársai (2024) pedig kimutatták, hogy a fakitermelés növelése és a hozzá kapcsolódó megnövekedett és hatékonyabbá váló faipari termelés jelentős többlet szénmegkötését és -tárolást tenne lehetővé hazai fatermékekben, miközben a termék- és energiahelyettesítés által elkerülhető kibocsátások mennyiségét is jelentősen növelné.

Tanulmányunk célja három eltérő erdőkezelési stratégia klímamitigációs hatásainak elemzése hazánk vonatkozásában. A vizsgált stratégiák a következők:

1. Fokozott természetvédelmi oltalom, és az erdei szénkészletek helyszíni megőrzése a fahasználatok csökkentése és minden más emberi beavatkozás mérséklése útján. (Extenzifikáció, EXT)
2. Intenzív erdőgazdálkodás fokozott fakitermeléssel, intenzív erdősitéssel, új fás ültetvények létesítésével kiegészítve, a hazai fafeldolgozó ipar felpörgetése faipari innovációk és kapacitásbővítés útján. (Intenzifikáció, INT)
3. Az erdőgazdálkodási gyakorlatok változatlan folytatása, azaz a szokásos ügymenet. (Business as Usual, BAU)

A három stratégiához kapcsolódó nettó szénegyenleget az Erdőipari Szén Modell felhasználásával (Forest Industry Carbon Model, FICM: Borovics et al. 2024, Kottek et al. 2023 b, Kottek 2023, Király et al. 2023) az OEA adatai alapján prognosztizáljuk, felhasználva az OKIR (2023), valamint a Központi Statisztikai Hivatal (OSAP 2023) fatermékekre és hulladékkezelésre vonatkozó adatait is.

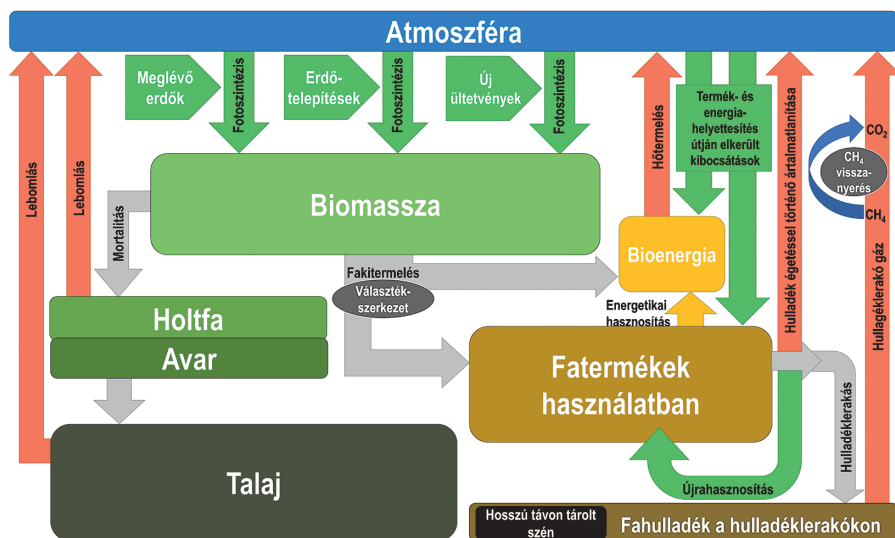
## ADAT ÉS MÓDSZER

A modellezés kiindulási adatai az OEA 2020. évi statisztikai állapota szerinti erdőrészlet szintű fafajsocki leírások voltak (Tobisch és Kottek 2013, Kottek et al. 2023 b). Az erdők és fatermékek szénmegkötésének, tárolásának és kibocsátásának előrejelzése az Erdőipari Szén Modell (1. ábra) segítségével történt, mely a térben explicit DAS erdőmodell (Kottek et al. 2023 b, Kottek 2023) továbbfejlesztett változata. A modell továbbfejlesztése az ErdőLab (Borovics 2022) projekt keretében valósult meg, melynek során a modellt talaj-, holt szervesanyag- és HWP modulokkal, valamint termék- és energiahelyettesítési modullal egészítettük ki (Király et al. 2023, Király et al. 2024). Az Erdőipari Szén Modell egy erdőrészlet-alapú modell, amely alkalmas az élőfakészlet, a folyónövedék és a szénmérleg előrejelzésére az erdőrészlet szintjén, illetve regionális és országos szinteken is. A HWP szénkészlet és szénegyenleg előrejelzése az IPCC módszertanon (IPCC 2006, 2013, 2019), míg a fahulladék-gazdálkodási előrejelzések az OKIR (2023) adatain és a Magyar Üvegházhatású Gázleltáron (NIR 2023) alapulnak. A termék- és energiahelyettesítési hatásokat Leskinen és munkatársai (2018) tanulmányából kiindulva a Király és munkatársai (2024) által ismertett módszertan szerint prognosztizálja. A modellt a 2006–2015 közötti időszakot lefedő historikus OEA adatok alapján validáltuk. A validáló futtatások eredményei az élőfakészlet adat tekintetében országos szinten 1,1%-os eltérést mutattak a historikus élőfakészlet adatokhoz képest (Kottek 2023).

Munkánk során három forgatókönyvet dolgoztunk ki. Az Extenzifikációs (EXT) szcenárióban a fakitermelés csökkentése és a beavatkozások minimalizálása jellemző (2–3. ábra), mely a természetvédelmi célok dominanciájával magyarázható. Az EXT forgatókönyvben a fakitermelés csökkenésével arányosan csökkenést feltételeztünk a faipari termékek gyártásának volumenében is.

Az Intenzifikációs forgatókönyvet (INT) az intenzív erdőgazdálkodás, fokozatosan emelkedő fakitermelési szint, valamint intenzív erdőtelepítés jellemzi (2–3. ábra). A fakitermelés növelésének fenntartható bázisát a Borovics és munkatársai (2023) által prognosztizált maximális fahasználati potenciál jelenti (4. ábra), mely új erdőtelepítések nélkül is jelentős többlet fakitermelési lehetőséget jelez előre a 2050-ig terjedő időszakra, és megfelel a tartamosság követelményinek. Az INT szce-

nárióban feltételezett magas erdőtelepítési szint szintén hozzájárul a jövőbeli hozami lehetőségek bővüléséhez. Az INT Szenárióban feltételeztük, hogy új, rövid vágásfordulójú fás szárú ipari ültetvényeket is nagy területen létesítenek az elkövetkező években. A másik lényeges feltételezés az INT forgatókönyvben a magyar fafeldolgozó ipar gyors kapacitásbővítése, és új, innovatív technológiák széleskörű térhódítása. Feltételeztük, hogy az országból nem exportálunk faanyagot, hanem minden alapanyagot belföldön dolgozunk fel, és növelni tudjuk a jó minőségű, tartós fatermékek gyártását. E feltételezés leképezésére megváltoztattuk a modellezett választékszerkezetet oly módon, hogy az ipari faválasztékok arányát növeltük (1. táblázat).



1. ábra: Az Erdőipari Szén Modell folyamatábrája  
Figure 1: Flowchart of the Forest Industry Carbon Model

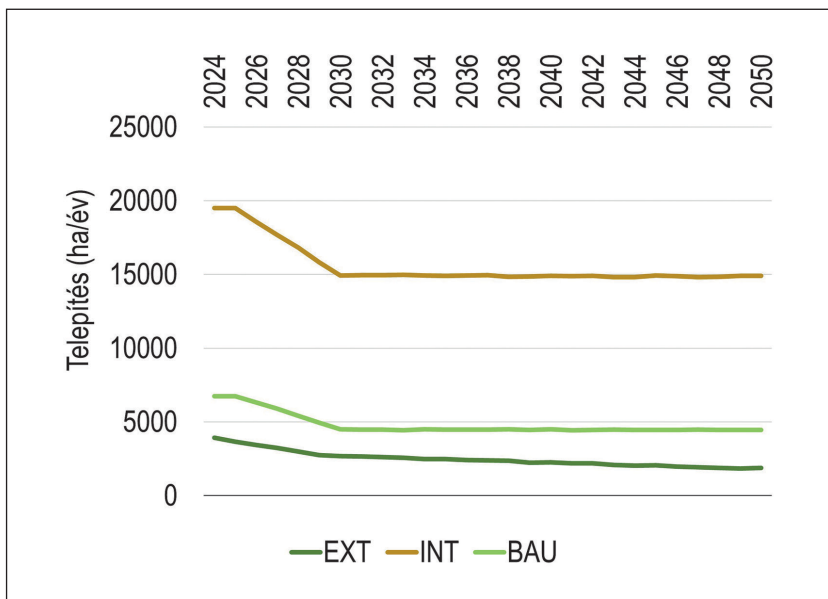
A harmadik modellezett forgatókönyvben azt feltételeztük, hogy a jelenlegi erdőgazdálkodási gyakorlatok és a faipar helyzete változatlan marad a 2050-ig terjedő időszakban (Business as Usual, azaz BAU Szenárió). Az alkalmazott főbb modellparamétereket a 2. táblázat tartalmazza.

A három modellezett forgatókönyv fakitermelési szintjeit illetően fontos hangsúlyozni, hogy a modellezési keretrendszer biztosítja, hogy az erdőrezervátumok, valamint a magas természetvédelmi értékű állományok, és a faanyagtermelést nem szolgáló üzemmódú területek ki legyenek zárva a fakitermelésből. Ez garantálja, hogy a jelentős ökológiai értékű területek egyik modellezett forgatókönyvben sem szenvednek bolygatást, így biztosítva az élőhelyek megőrzését.

A modellezés során azt is megvizsgáltuk, hogy az EU által Magyarország számára a földhasználati szektorra (LULUCF) vonatkozóan 2030-ra kitűzött klímacél (azaz –5724 kt CO<sub>2</sub> egyenérték szintű szénmegkötés elérése) megvalósul-e. Ehhez csak az erdők és a fatermékek szénmérlegét vettük figyelembe, mivel a termék- és energiahelyettesítés nem része a LULUCF elszámolásnak (Martes és Köhl 2022). Bár a LULUCF célt a teljes LULUCF szektornak kell elérnie, ideértve a szántóföldeket, gyepeket, vizes területeket, településeket, erdőket és fatermékeket, mi csak az erdők és a fatermékek nettó szénegyenlegének célértékhez való viszonyát vizsgáltuk. Ezt az egyszerűsítést azért alkalmaztuk, mivel Magyarországon a LULUCF szektoron belül jelenleg az egyetlen szénnyelő

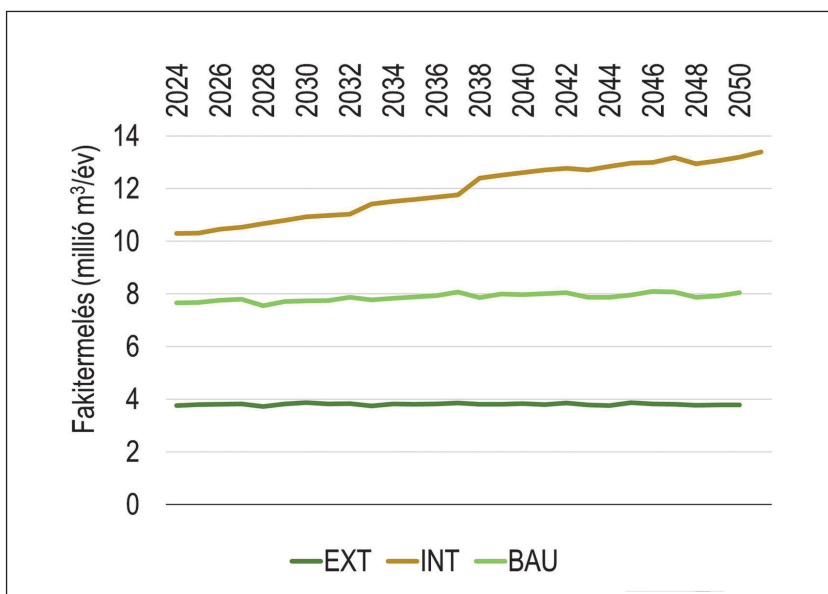


az erdőipar, így nagy valószínűséggel abban az esetben, ha az erdőalapú ágazat nem éri el a kitűzött célt, akkor a teljes LULUCF szektor is deficités marad.



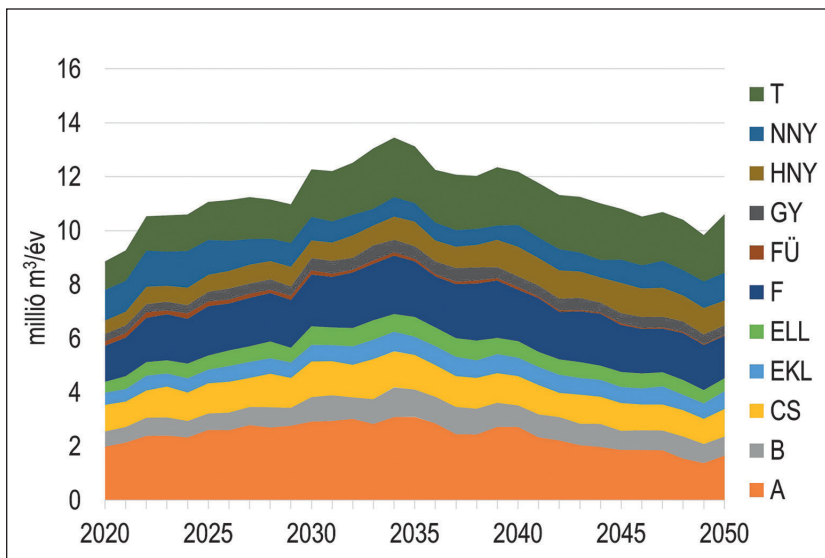
2. ábra: Az erdőtelepítések területe a három vizsgált Szenárióban

Figure 2: Annual amount of harvested timber set in the three examined scenarios



3. ábra: A fakitermelés alakulása a három vizsgált Szenárióban

Figure 3: Annual area of afforestation and new forest plantations set in the three examined scenarios



4. ábra: Az erdőtervezői vágásérettségi korokból levezetett maximális fahasználati potenciál, további erdőtelepítések figyelembevétele nélkül. A becslés az OEA 2020-as állapotából indul ki.

Erre alapozva állítottuk be az INT Szenárióban alkalmazott fahasználati intenzitást

Figure 4: Projection of the maximum wood mobilization potential based on the cutting ages as defined by the Forest Management Plans. These results were used as input data to set the harvesting intensity of the intensification scenario

1. táblázat: A három Szenárió prognosztizált faválaszték arányai. (A BAU és EXT választékarányok a 2017–2021-es időszak átlagos faválaszték adatain alapulnak (OSAP 2023), míg az INT választékarányokat szakértői becsléssel határoztuk meg)

Table 1: Wood assortments under the three examined scenarios. BAU and EXT assortments are based on the 2017–2021 average wood assortment (OSAP 2023), while INT assortments are based on expert judgement

|                  | T   | CS  | B   | GY  | A   | EKL | NNY | HNY | FÜ  | ELL | F   |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| BAU és EXT       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Fűrészipari rönk | 25% | 2%  | 23% | 2%  | 10% | 10% | 55% | 38% | 11% | 20% | 26% |
| Rostfa           | 6%  | 4%  | 16% | 10% | 10% | 8%  | 31% | 23% | 54% | 14% | 39% |
| Papírfa          | 0%  | 1%  | 1%  | 0%  | 0%  | 0%  | 5%  | 20% | 2%  | 1%  | 21% |
| Tűzifa           | 69% | 93% | 59% | 88% | 80% | 82% | 8%  | 18% | 33% | 65% | 14% |
| INT              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Fűrészipari rönk | 50% | 40% | 40% | 20% | 40% | 30% | 50% | 50% | 20% | 40% | 40% |
| Rostfa           | 20% | 20% | 30% | 30% | 10% | 30% | 40% | 30% | 60% | 30% | 40% |
| Papírfa          | 5%  | 5%  | 5%  | 5%  | 0%  | 5%  | 5%  | 5%  | 5%  | 5%  | 10% |
| Tűzifa           | 25% | 35% | 25% | 45% | 50% | 35% | 5%  | 15% | 15% | 25% | 10% |

2. táblázat: A modell faiparhoz és hulladékkezeléshez kapcsolódó paraméterezése (A 2024-es évre a BAU paramétereket használtuk mindegyik scenárióban, az Intenzifikációs scenárióban a paramétereket fokozatosan változtattuk a 2024–2050 időszakban.)

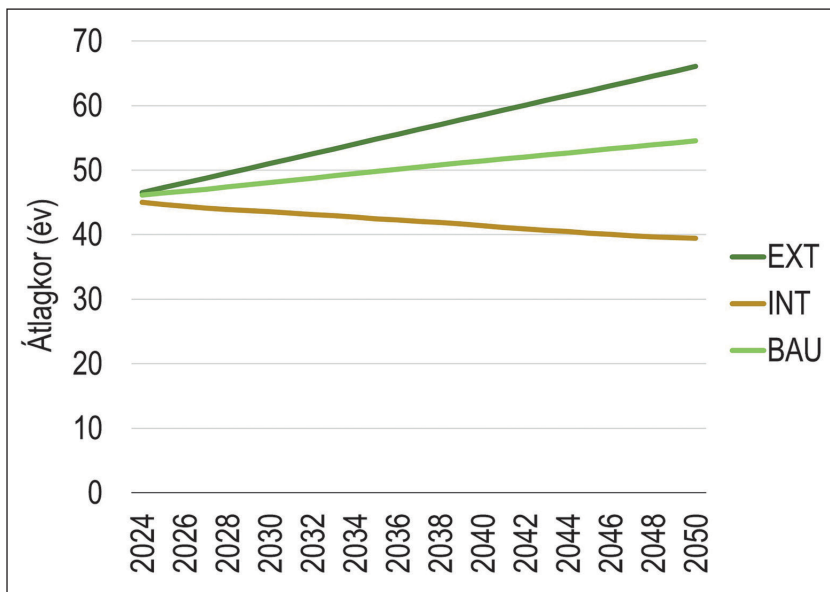
Table 2: Wood industry- and waste management related scenario parametrization (For the year 2024 BAU parameters were used in all scenarios. In the Intensification scenario the parameters were gradually changed between the years 2024 and 2050)

|                                                     | BAU, 2050                                 | EXT, 2050                                       | INT, 2050                                                                                 |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fatermék termelés                                   | Az utolsó 5 év historikus adatának átlaga | Az utolsó 5 év historikus adatai átlagának fele | A prognosztizált fokozatosan növekvő fakitermelési szint szerint növekvő faipari termelés |
| Fűrészáru felezési ideje                            | 35                                        | 35                                              | 50                                                                                        |
| Laptermékek felezési ideje                          | 25                                        | 25                                              | 35                                                                                        |
| Papír és karton felezési ideje                      | 2                                         | 2                                               | 2                                                                                         |
| Hulladéklerakóra kerülő fahulladék %                | 6                                         | 6                                               | 2                                                                                         |
| Hulladéklerakóra kerülő papírhulladék %             | 10                                        | 10                                              | 2                                                                                         |
| Újrahasznosított fűrészáru %                        | 25                                        | 25                                              | 60                                                                                        |
| Újrahasznosított laptermékek %                      | 25                                        | 25                                              | 60                                                                                        |
| Újrahasznosított papír és karton %                  | 71                                        | 71                                              | 90                                                                                        |
| Metánvisszanyerés %                                 | 7                                         | 7                                               | 60                                                                                        |
| Szubsztitúciós faktor fatermékekre                  | 1,2                                       | 1,2                                             | 1,2                                                                                       |
| Szubsztitúciós faktor bioenergetikai felhasználásra | 0,67                                      | 0,67                                            | 0,67                                                                                      |

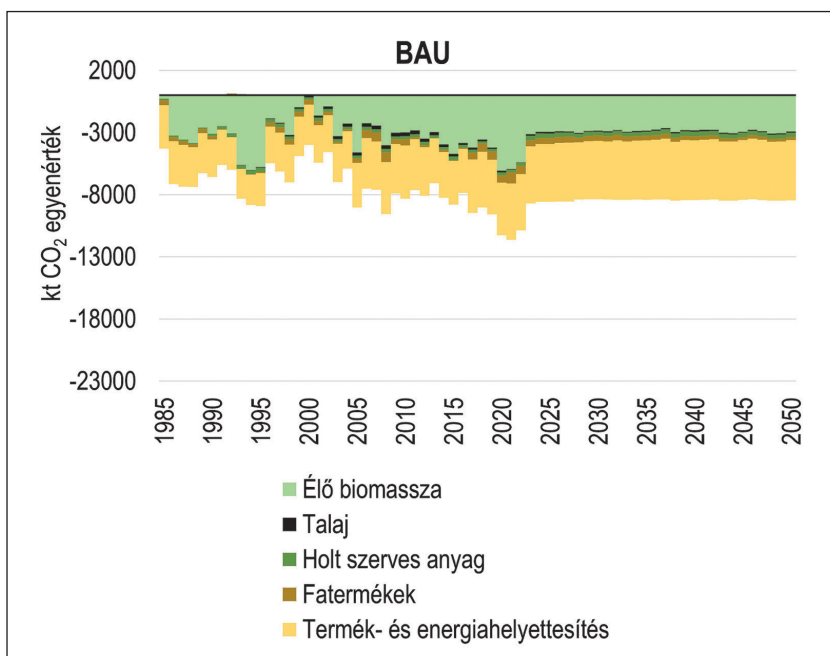
## EREDMÉNYEK

Eredményeink szerint a prognosztizált korosztályszerkezetben jelentős eltérések mutatkoznak a három scenárió között (5. ábra). A BAU forgatókönyvben erdeink előregedésének folyamata változatlan ütemben folytatódik. Az EXT forgatókönyvben a hazai erdők átlagéletkora a BAU-hoz képest radikálisan nő, a jelenlegi 45,5 évről 2050-re 66,1 évre emelkedik. Ezzel szemben az INT forgatókönyv esetén a folyamat megfordul és erdeink átlagéletkora 2050-re 39,5 évre csökken.

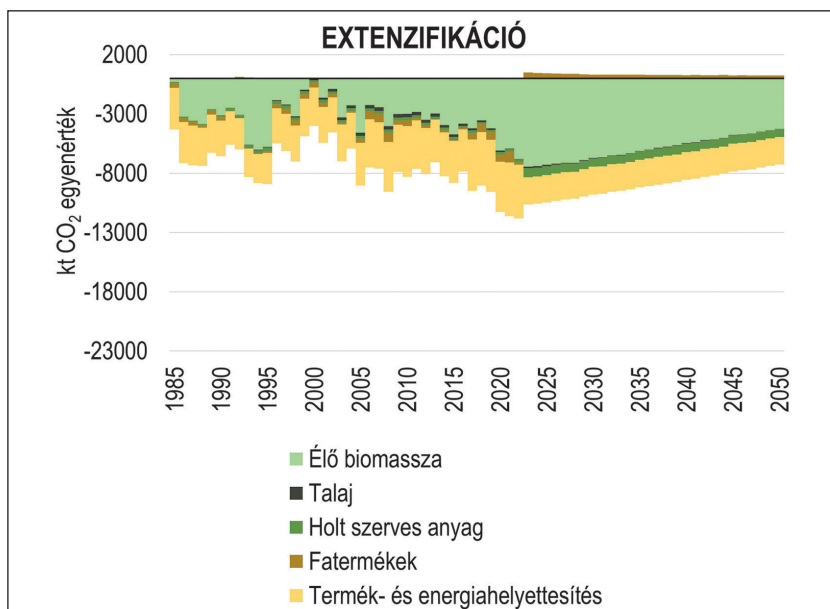
A három forgatókönyv szénmérlegét tekintve azt állapíthatjuk meg, hogy a BAU és az EXT scenáriókban a legfontosabb szénnyelő az erdei élő biomassza (föld feletti és föld alatti), míg az INT scenárióban az élőfakészlet mellett a fatermékek is azonos nagyságrendű elnyelést produkálnak (6-8. ábra). A BAU forgatókönyvben a termék- és energiahelyettesítési hatások hasonló nagyságrendűek, mint az erdei szénelnyelők (6. ábra). Az EXT forgatókönyv esetén a helyettesítési hatások kevésbé jelentősek (7. ábra), míg az INT forgatókönyv esetében a helyettesítési hatásokhoz köthető a legnagyobb kibocsátáscsökkentés (8. ábra).



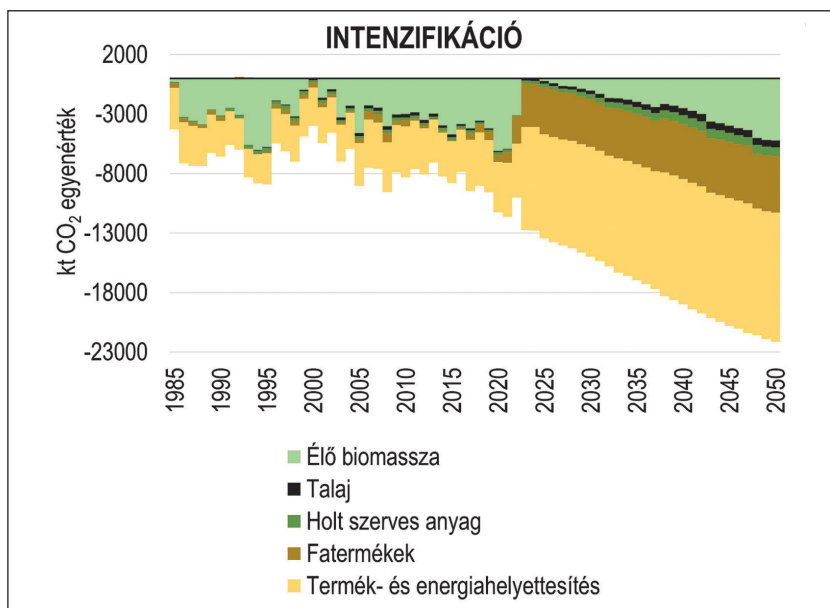
5. ábra: A hazai erdőállomány átlagkorának alakulása a három prognosztizált scenárióban  
Figure 5: Average age of Hungarian forest stands under the three examined scenarios



6. ábra: A BAU scenárió prognosztizált szénegyenlege széntárolók szerinti bontásban, a termék helyettesítés által elkerült kibocsátások számított értékét is feltüntetve  
Figure 6: Projected carbon balance of the living biomass, DOM, soil, and HWP pools, as well as product and energy substitution effects under the BAU scenario



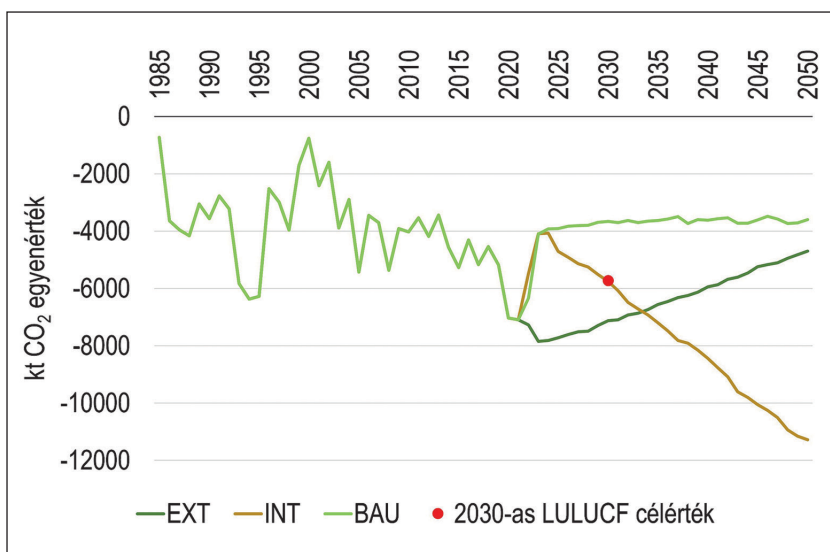
7. ábra: Az Extenzifikációs Szenárió prognosztizált szénegyenlege széntárolók szerinti bontásban, a termékhelyettesítés által elkerült kibocsátások számított értékét is feltüntetve  
 Figure 7: Projected carbon balance of the living biomass, DOM, soil, and HWP pools, as well as product and energy substitution effects under the Extensification scenario



8. ábra: Az Intenzifikációs Szenárió prognosztizált szénegyenlege széntárolók szerinti bontásban, a termékhelyettesítés által elkerült kibocsátások számított értékét is feltüntetve  
 Figure 8: Projected carbon balance of the living biomass, DOM, soil, and HWP pools, as well as product and energy substitution effects under the Intensification scenario



A 9. ábra a három vizsgált forgatókönyv nettó erdő és fatermék szénegyenlegét szemlélteti Magyarország 2030-as LULUCF szénmegkötési célértékéhez ( $-5724$  kt  $\text{CO}_2$  egyenérték) viszonyítva. A BAU forgatókönyv esetében az erdőalapú szektor 2030-as nettó szénmegkötése a prognózis szerint  $-3659$  kt  $\text{CO}_2$  egyenérték lesz. Ez azt jelenti, hogy a célérték csak akkor lenne elérhető, ha nagyon jelentős szénmegkötések valósulnának meg a szántó, a gyepek, a települések vagy a vizes élőhelyek LULUCF alszektorokban, aminek valószínűsége igen kicsi. Az EXT forgatókönyv esetén a prognosztizált szénelnyelés 2030-ban  $-7121$  kt  $\text{CO}_2$  egyenérték, míg az INT forgatókönyvben  $-5754$  kt  $\text{CO}_2$  egyenérték, ami azt jelenti, hogy az EU jogszabály által felállított cél mindkét forgatókönyvben teljesül.

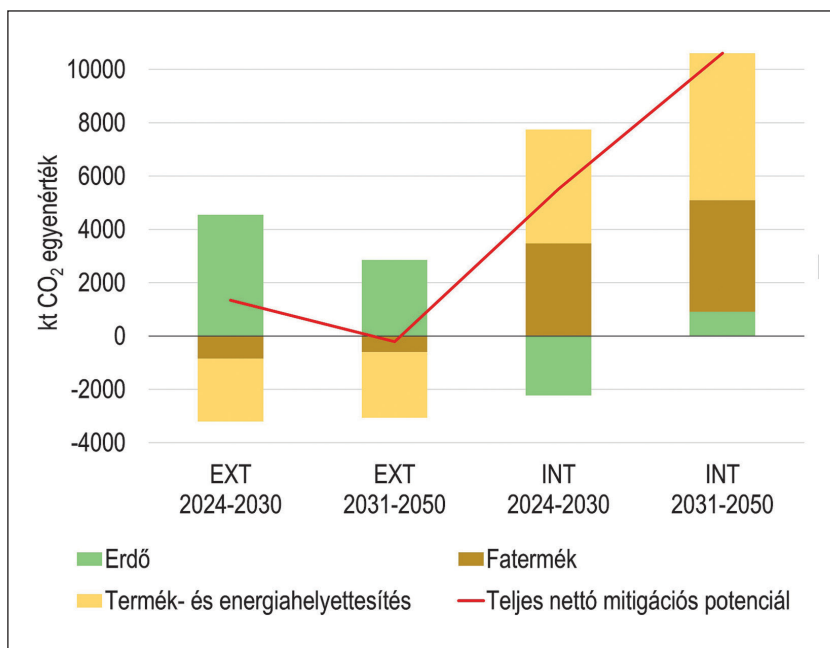


9. ábra: Az erdei széntárolók és a fatermék szénegyenlege a három vizsgált Szenárióban összevetve a Magyarország számára előírt 2030-as LULUCF célértékkel (A negatív értékek szénmegkötést jelölnek az IPCC konvencióknak megfelelően.)

Figure 9: Projected net emissions of the forest and HWP sectors under the three examined scenarios and the 2030 LULUCF removal target (Negative numbers indicate carbon sequestration according to the IPCC conventions.)

A 10. ábra szemlélteti az INT és EXT forgatókönyvek klímamitigációs potenciálját a BAU nettó szénelnyelési szinthez viszonyítva. A 2024–2030 közötti időszakban az EXT forgatókönyv éves átlagos klímamitigációs potenciálja  $1347$  kt  $\text{CO}_2$  egyenérték, míg az INT forgatókönyv esetében eléri az  $5520$  kt  $\text{CO}_2$  egyenértéket. A 2031–2050 közötti időszakban az EXT forgatókönyv  $-206$  kt  $\text{CO}_2$  egyenérték negatív mitigációs potenciált produkál, ami azt jelenti, hogy ebben az időszakban az EXT Szenárió többletkibocsátó a BAU forgatókönyvhöz képest. Ugyanebben az időszakban az INT forgatókönyvben modellezett intenzív erdőipar  $10\,606$  kt  $\text{CO}_2$  egyenérték éves átlagos mitigációs potenciált ér el a BAU szintjéhez képest. Az EXT forgatókönyvben mindkét időszakban a fatermék többletkibocsátók a BAU Szenárióhoz viszonyítva, és a termékhelyettesítési hatások is alacsonyabbak, ugyanakkor az erdei széntárolók többletmegkötők a BAU-val történő összehasonlításban. Az INT forgatókönyvben a 2024–2030-as időszakban az erdők kevesebb széndioxidot kötnek meg, mint a BAU forgatókönyv esetében, míg a fatermék és a helyettesítési hatások többlet szén-

megkötést produkálnak. A 2031–2050-es időszakban az INT forgatókönyvben minden széntároló, valamint a termék- és energiahelyettesítési hatások is többlet szénmegkötést produkálnak a BAU szcenárióhoz viszonyítva.



10. ábra: Az Extenzifikációs és az Intenzifikációs szcenáriók átlagos éves mitigációs potenciálja a BAU szcenárióhoz viszonyítva a 2024–2030 és a 2031–2050 időszak vonatkozásában (A pozitív számok többlet szénmegkötést jelölnek a BAU szcenárióhoz képest, míg a negatív számok többlet kibocsátást jelölnek)

Figure 10: Average annual mitigation potential of the EXT and INT scenarios compared to the BAU scenario calculated for the periods 2024–2030 and 2031–2050 (Positive numbers indicate additional carbon sequestration as compared to the BAU level, while negative numbers indicate additional CO<sub>2</sub> emissions)

## DISZKUSSZIÓ

A BAU forgatókönyvben feltételeztük a hazai erdőgazdálkodási gyakorlat és a fakitermelési szintek változatlanágát. Előrejelzésünk szerint e gyakorlatok változatlan fenntartása csökkenő erdőalapú szénlekötést eredményez a 2050-ig terjedő időszakban, míg a termék- és energiahelyettesítési hatások szintje konstans marad. Az erdei szénlekötés csökkenése nagy valószínűséggel a hazai erdők korosztályszerkezetének tudható be, az erdők átlagkorának folyamatos emelkedése ugyanis a folyónövedék fokozatos csökkenéséhez vezet. Ez az eredmény azért jelentős, mert rámutat arra, hogy további intézkedések nélkül a Magyarország számára kitűzött 2030-as LULUCF célérték valószínűleg nem lesz teljesíthető.

Az INT forgatókönyv szénmérlegének elemzése azt támasztja alá, hogy Magyarországon a ki-termelt fa mennyisége növelhető úgy, hogy ez egyben a szénlekötés növelését is eredményezze. Ez összhangban van Köhl és Martes (2023) megállapításaival, akik szerint az erdészeti ágazat sokkal nagyobb mértékben tud hozzájárulni a klímacélok megvalósulásához a fa kitermelésével és

alacsony károsanyag kibocsátású feldolgozásával, valamint hosszú távú beépítésével, mint in-situ erdei szénraktározás útján. Moreau és munkatársai (2022) a LANDIS-II térben explicit erdőmodell, illetve a Forest Carbon Succession és a Carbon Budget Model for Harvested Wood Products modellek felhasználásával prognosztizálták egy északi mérsékelt égővi erdő szénmérlegét különböző erdőkezelési forgatókönyveket feltételezve. Megállapították, hogy a legintenzívebb gazdálkodással jellemzett forgatókönyvek eredményezték a legmagasabb folyónövedéket és a legnagyobb szénmegkötést. Fiorese és Guariso (2013) eredményei is összhangban vannak a mi megállapításainkkal, e szerzők regionális elemzést végeztek az olasz erdőalapú ágazat szénmérlegére vonatkozóan, és megállapították, hogy a vizsgált területen a fakitermelés maximalizálása bizonyult az optimális forgatókönyvnek négy erdőtípusból három esetében. Ezzel szemben Heinonen és munkatársai (2017) Finnország esetében arra az eredményre jutottak, hogy az erdészeti ágazat összesített kumulatív széndioxid-mérlege alacsony kitermelési szintek alkalmazása esetén volt a legkedvezőbb. Ugyanakkor azt is hangsúlyozták, hogy a magasabb fakitermeléssel jellemzett forgatókönyvek kedvezőbb HWP szénegyensúlyt mutattak, illetve a termékhelyettesítési hatások tekintetében is kedvezőbbnek bizonyultak. Pukkala (2014) rávilágít, hogy a termék- és energiahelyettesítési hatások integrálása az erdőalapú szektor szénmérlegének modellezésébe jelentősen növeli a kimutatott klímamitigációs hatások nagyságát.

Az EXT forgatókönyv esetében az előrejelzésünk azt mutatja, hogy az erdei szénnyelő hirtelen jelentős megnövekedését követően a biomassza szénmegkötése csökkenő tendenciát mutat és 2050-re majdnem a BAU-szintre esik vissza. Ezt a tendenciát tovább rontja, hogy az EXT forgatókönyv esetében a helyettesítési hatások jóval alacsonyabbak, mint a másik két forgatókönyvben, ami a csökkentett fakitermelési szint következménye. Martes és Köhl (2022) a BEKLIFUH modellt használta hat erdőkezelési forgatókönyv értékelésére a hamburgi nagyvárosi térségben. Eredményeinkkel összhangban azt találták, hogy míg a helyszíni védelem magasabb szénkészletet eredményezett az erdei biomasszában, addig a fatermékek és a termékhelyettesítési hatások számításba vétele esetén már a nagyobb fahasználati intenzitással jellemzett forgatókönyvek mutatkoztak klímamitigációs szempontból kedvezőbbnek.

Az EXT forgatókönyv esetében a modellezés a hazai erdők jelentős elöregedését prognosztizálja, 2050-re az erdők átlagéletkora meghaladja a 66 évet. Ezek a túltartott állományok az idő előrehaladtával valószínűleg egyre sérülékenyebbé válnak és a természetes bolygatásokkal szembeni ellenálló képességük is romolhat. Ez jelentős probléma forrásává válhat a folyamatban lévő klímaváltozásra tekintettel, ami kiterjedt erdőkárokat okozhat. Modellezésünk során nem vettük figyelembe az éghajlatváltozás potenciális kedvezőtlen hatásait a fatermőképességre és a fafajok elterjedési területére. E hatás elhanyagolását indokolja a lehetséges hatások jelentős bizonytalansága, illetve a projekció viszonylag rövid időablaka is. Ugyanakkor közismert tény, hogy a klíma előrejelzések szerint számos fafaj elterjedési területe csökkenni fog Magyarországon (Illés és Möricz 2022), különösen a szárazsági határ közelében tenyésző populációk lehetnek súlyosan érintettek (Mátyás et al. 2010; Borovics és Mátyás 2013). Mindezek alapján valószínűsíthető, hogy az erdők nettó szénmegkötése minden forgatókönyvben csökkenne az erősödő felmelegedés hatására. Fontos hangsúlyozni, hogy az erdőgazdálkodásnak jelentős szerepe lehet abban, hogy elősegítse az erdőállományok alkalmazkodását a jövőbeli termőhelyi feltételekhez (Messier et al., 2019; Mina et al., 2021). Például egy fokozott fakitermeléssel jellemzett gazdálkodási forgatókönyv esetében a beavatkozások olyan állományokat célozhatnak meg, amelyek a leginkább érzékenyek a biotikus és abioti-

kus károkkal szemben, vagy amelyek esetében a fatermőkéesség csökkenése a legdrasztikusabb, ily módon csökkenthetők az erdőkárok, és az alkalmazkodás folyamata felgyorsítható (Hennigar és MacLean, 2010; MacLean et al., 2007, Moreau et al. 2022). A felújítási időszak kulcsfontosságú a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás tekintetében, mivel teret ad a természetes genetikai diverzitás útján történő alkalmazkodásnak, ugyanakkor lehetőséget teremt preadaptált szaporítóanyag alkalmazására is (Borovics et al. 2023). A véghasználat és a felújítás elhalasztása lassítja az alkalmazkodási folyamatot, és növeli a természetes bolygatások következtében fellépő többlet széndioxid kibocsátás kockázatát is. Egy intenzívebb gazdálkodási forgatókönyv esetében az erdőgazdálkodók aktívan befolyásolhatják a fafajösszetételt, ezzel segítve az erdők hosszútávú fennmaradását, és növelve ellenálló képességüket a változó éghajlattal szemben (Moreau et al. 2022).

A hazai fakitermelés szintje évtizedek óta stabil, mintegy 7,5 millió m<sup>3</sup> körüli. Eredményeink ugyanakkor azt mutatják, hogy a kitermelt mennyiség jelentősen növelhető lenne anélkül, hogy ez negatív hatást gyakorolna a klímaváltozás mérséklésére. Az INT forgatókönyv megvalósulásához azonban jelentős beruházásokra és innovációra lenne szükség a hazai faiparban, annak érdekében, hogy az addicionális 2-4 millió m<sup>3</sup> faanyag feldolgozása, hosszú távú beépítése lehetővé váljon. Az elkövetkező évtizedekben a szárazságtűrő fafajok, például a cser (*Quercus cerris*) és a hazai nyárak (*Populus alba*, *Populus x canescens*, *Populus tremula*) faanyaga egyre jelentősebb mennyiségben válik majd elérhetővé Magyarországon (Borovics et al. 2023). Ezért célszerű lenne új terméktípusokat tervezni és innovatív gyártási folyamatokat kialakítani, hogy e jelenleg alulhasznosított fafajok faanyaga hatékonyan feldolgozhatóvá váljon, és magas minőségű, hosszú élettartamú termékek előállítását valósíthassuk meg belőlük. A következő évtizedek elsődleges kihívása a magyar erdőipar számára a kihasználatlan favagyron mozgósítása és a megnyíló további kitermelési lehetőségek optimális kihasználása lesz. A túltartott állományok megfelelő hasznosításához szakmai integrációra, valamint térinformatikai támogatásra is szükség van. A kitermelhető fakészletek mennyiségére és értékére vonatkozó pontos és földrajzilag meghatározott adatok újszerű vállalkozói kultúra és innovatív megoldások elterjedését alapozhatnák meg az erdészeti és faipari szektorban (Borovics et al. 2023).

Vizsgálatunk hiányossága az, hogy a klímaváltozás erdőkre gyakorolt jövőbeli hatását nem vettük figyelembe a modellezés során. Modellünket a folyamatban lévő ErdőLab (Borovics 2022) projekt keretében tervezzük továbbfejleszteni, hogy lehetővé váljon a klímaváltozás hatásainak integrálása is, és olyan modellfutások végrehajtása, melyek egyszerre vizsgálják a különféle erdőkezelési forgatókönyvek, valamint az egyes klímaszenáriók hatásait.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Eredményeink arra engednek következtetni, hogy az erdőiparhoz kapcsolódó klímamitigációs potenciál jelentős része a fatermékek széntárolásában, valamint a termék- és energiahelyettesítési hatásokban rejlik. Így az erdei szénkészletek növelése vagy fenntartása a fahasználat elhagyása útján az éghajlatváltozás mérséklése érdekében egy téves koncepció, amely az erdőipar kulcsfontosságú elemeinek figyelmen kívül hagyásából származik. Ez a megoldási javaslat ugyanis nem veszi figyelembe az erdőn kívüli, a technoszférában zajló folyamatokat, sem az ott tárolt szénkészleteket. Az erdőgazdálkodás és a faipar átfogó és koherens ismerete, valamint az alulhasznosított fafajok fafeldolgozásának innovatív megoldása elengedhetetlen a legkedvezőbb szénmérleg eléréséhez.

A klímasemlegesség erdészeti és faipari intézkedések együttes végrehajtásával, és elsősorban faipari innovációkkal és intenzifikációval kombinált aktív alkalmazkodással érhető el.

A gazdálkodás nélküli erdőben, vagy csökkentett kitermeléssel jellemezhető erdőgazdálkodási modell esetén felhalmozódó faanyagot a lebontó szervezetek bontják le, amely során ugyanannyi széndioxid szabadul fel, mint ha azt tűzifa égetésével fosszilis energiahordozók kiváltására hasznosítanánk. A fenntartható erdőgazdálkodás során a fakitermeléssel és hasznosítással éppen a lebontást végző fogyasztók elől csapoljuk meg ezt a szénforrást ügyelve egyúttal arra is, hogy az ökoszisztéma működéshez és a biodiverzitás fenntartásához szükséges mennyiségű holtfát is hagyjunk az erdőben. A korosztály eloszlás és a véghasználatok eltolása, átmenetileg és csak rövid távon csökkenti a légkör széntartalmát, miközben elmaradnak az erdők érdekében végrehajtandó alkalmazkodást segítő beavatkozások, mint például a fafajcserék, az előalkalmazkodott, klímarezisztens szaporítóanyaggal végzett felújítások és állománykiegészítések, valamint a kevesebb vízfelhasználást eredményező faállomány szerkezet kialakítását segítő gyérítések végrehajtása. A fentiekből következően a faanyag hasznosításának elmaradása csak rövidtávon eredményezhet többlet szénmegkötést, hosszabb távon korlátozza a klímaváltozás mérséklését, valamint a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodást. A legtöbb addicionális szénmegkötést éppen az innovatív fafatermékek és a faalapú termék helyettesítés révén érhetjük el, mobilizálva az erdőkben eddig nem hasznosított favagyont. Ez az erdőgazdálkodás intenzifikációjával egybekötött faipari innováció, mint erdőipari fejlesztés az, amely a legtöbb szénmegkötést képes megvalósítani 2050-re. Ennek elérését ösztönző zöld beruházási gazdasági eszközök fejlesztése és a teljes folyamat jobb bemutatását és kommunikációját lehetővé tevő képzési tartalmak kidolgozása jelenleg zajlik az ErdőLab projekt keretében, az ökológiai, biológiai, ökonómiai és műszaki tudományterületek együttműködésében.

## 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.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Borovics 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>
- Borovics A. & Király É. 2023a: Klímamitigáció és alkalmazkodás a magyar erdőiparban. *Erdészeti Lapok* 158: (1): 5-9.
- Borovics A. & Király É. 2023b: The Challenge of Mobilizing the Unused Wood Stock Reserve to Foster a Sustainable and Prosperous Hungarian Forest Industry, *Chemical Engineering Transactions* 107: 637-642. <https://doi.org/10.3303/CET23107107>
- Borovics A., Mertl T., Király É. & Kottek P. 2023: Estimation of the Overmature Wood Stock and the Projection of the Maximum Wood Mobilization Potential up to 2100 in Hungary. *Forests* 14(8):1516. <https://doi.org/10.3390/f14081516>
- Borovics A. 2022: ErdőLab: A Soproni Egyetem Erdészeti és Faipari Projektje: Fókuszban az Éghajlatváltozás Mérséklése; *Erdészeti Lapok* 157(4): 114–115.



- Borovics A. & Mátyás Cs. 2013: Decline of genetic diversity of sessile oak at the re-tracting (xeric) limits. *Annals of Forest Science* 70: 835–844. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0324-6>
- COM(2021) 572: European Commission. New EU forest strategy for 2030. COM. (2021) 572 final. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European Economic and social committee and the committee of the regions. 2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0572>
- COM(2021) 699: European Commission. EU soil strategy for 2030 – Reaping the ben-efts of healthy soils people, food, nature and climate. COM(2021) 699 final. Communica-tion from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. 2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699>
- COM(2021) 800: EC. Communication from the commission to the European parlia-ment and the council. Sustainable carbon cycles. COM(2021) 800 final. 2021.
- COM(2022) 304: European Commission. Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on na-ture restoration. COM(2022) 304 final. 2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2022:304:FIN>
- COM(2022) 672: European Commission. Proposal for a member of the European par-liament and the council establish-ing a union certification framework for carbon removals. COM(2022) 672 final. 2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/HIS/?uri=CELEX:52022PC0672>
- EU/2018/841: Regulation (EU) 2018/841: of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy frame-work, and amending Regulation (EU) No 525/2013 and Decision No 529/2013/EU (Text with EEA relevance) <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/841/oj>
- EU/2021/1119: European Climate Law. Regulation (EU) 2021/1119 of the European parliament and of the council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending regulations (EC) no 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('Eu-ropean Climate Law'). PE/27/2021/REV/1. <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>
- Európai Bizottság 2022: EU forests – new EU framework for forest monitoring and strategic plans. 2022. [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13396-EU-forests-new-EU-Framework-for-Forest-Monitoring-and-Strategic-Plans\\_en](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13396-EU-forests-new-EU-Framework-for-Forest-Monitoring-and-Strategic-Plans_en)
- Európai Bizottság 2023: Soil Health. 2023. [https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-and-land/soil-health\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-and-land/soil-health_en)
- Fankhauser S., Smith S., Allen M., Axelsson K., Hale T., Hepburn C. et al.2022: The meaning of net zero and how to get it right. *Nature Climate Change* 12: 15–21. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01245-w>.
- Fiorese G. & Guariso G. 2013: Modelling the role of forests in a regional carbon mitigation plan, *Renewable Energy* 52: 175–182. ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.09.060>
- Forest Act of Hungary 2024: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0900037.tv>
- Friedlingstein P., Jones M.W., O'Sullivan M., Andrew R.M., Hauck J., Peters G.P. et al. 2019: Global carbon budget 2019. *Earth System Science Data* 11(4): 1783–1838. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>
- Grassi G., House J., Dentener F., Federici S., den Elzen M. & Penman J. 2017: The key role of forests in mee-ting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change* 7(3): 220–226. <https://doi.org/10.1038/nclimate3227>
- Heinonen T., Pukkala T., Mehtätalo L., Asikainen A., Kangas J. & Peltola H. 2017: Scenario analyses for the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry, *Forest Policy and Economics* 80: 80-98. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.03.011>
- Hennigar C.R.H.R. & MacLean D.A.M.A. 2010: Spruce budworm and management effects on forest and wood product carbon for an intensively managed forest. *Canadian Journal of Forest Research* <https://doi.org/10.1139/X10-104>
- Hurmekoski E., Kilpeläinen A. & Seppälä J. 2022: Climate-Change Mitigation in the Forest-Based Sector: A Holistic View. Chap-ter 8 In: Hetemäki L. et al. (eds.): *Forest Bioeconomy and Climate Change, Managing Forest Ecosystems* 42 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-99206-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-99206-4_8)
- Illés G. & Móricz N. 2022: Climate envelope analyses suggests significant rear-rangements in the distribution ranges of Central European tree species. *Annals of Forest Science* 79: 35.



- IPCC 2006: IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the national greenhouse gas inventories programme. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds).
- IPCC 2013: Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto protocol. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Pp. 268.
- IPCC 2019: Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A.; Baasansuren, J.; Fukuda, M.; Ngarize, S.; Osako, A.; Pyrozhenko, Y.; Shermanau, P. and Federici, S. (eds).
- Király É., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G., Polgár A. & Borovics A. 2024: Climate change mitigation through carbon storage and product substitution in the Hungarian wood industry. Wood Research 69(1): 72-86. <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/69.1.7286>
- Király É., Kis-Kovács G., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G., Polgár A. & Borovics A. 2023: Modelling Carbon Storage Dynamics of Wood Products with the HWP-RIAL Model—Projection of Particleboard End-of-Life Emissions under Different Climate Mitigation Measures. Sustainability 15(7): 6322. <https://doi.org/10.3390/su15076322>
- Korosuo A., Pilli R., Abad Viñas R. et al. 2023: The role of forests in the EU climate policy: are we on the right track? Carbon Balance and Management 18: 15. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00234-0>
- Kottek P. 2023: Hosszútávú erdőállomány prognózisok. PhD Értekezés. 142 p. Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola, Soproni Egyetem. Sopron.
- Kottek P., Király É., Mertl T. & Borovics A. 2023a: Trends of Forest Harvesting Ages by Ownership and Function and the Effects of the Recent Changes of the Forest Law in Hungary. Forests 14(4):679. <https://doi.org/10.3390/f14040679>
- Kottek P., Király É., Mertl T. & Borovics A. 2023b: The Re-parametrization of the DAS Model Based on 2016-2021 Data of the National Forestry Database: New Results on Cutting Age Distributions. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 19(2): 61–74. <https://doi.org/10.37045/aslh-2023-0005>
- Köhl M. & Martes L. M. 2023: Forests: A passive CO2 sink or an active CO2 pump? Forest Policy and Economics 155(10): 103040. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103040>
- Leskinen P., Cardellini G., González-García S., Hurmekoski E., Sathre R., Seppälä J., Smyth C., Stern T. & Verkerk P.J. 2018: Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From Science to Policy 7. European Forest Institute. pp. 28.
- Levin K., Rich D., Ross K., Fransen T. & Elliott C. 2020: Designing and Communicating Net-Zero Targets. World Re-sources Institute. Designing and communicating net-zero tar-gets (apo.org.au).
- Lipiäinen S., Semyagina E., Kuparinen K. & Vakkilainen E. 2022: Future of forest in-dustry in carbon-neutral reality: Finnish and Swedish visions, Energy Reports 8: 2588-2600. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.191>
- MacLean D., Porter K., Quiring D. & Hennigar C. 2007: Optimized harvest planning under alternative foli-age-protection scenarios to reduce volume losses to spruce budworm. Canadian Journal of Forest Research 37(10): 1755–1769. <https://doi.org/10.1139/X07-001>
- Martes L. & Köhl M. 2022: Improving the Contribution of Forests to Carbon Neutrality under Different Policies—A Case Study from the Hamburg Metropolitan Area. Sustainability 14(4): 2088. <https://doi.org/10.3390/su14042088>
- 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(1): 91–110.
- Messier C., Bauhus J., Doyon F., Maure F., Sousa-Silva R., Nolet P., Mina M., Aquilué N., Fortin M.J. & Puettmann K. 2019: The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes. Forest Ecosystems 6: 21. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0166-2>
- Mina M., Messier C., Duveneck M., Fortin M.J. & Aquilué N. 2021: Network analysis can guide resilience-based management in forest landscapes under global change. Ecological Applications 31(1): e2221. <https://doi.org/10.1002/eap.2221>
- Moreau L., Thiffault E., Cyr D., Boulanger Y. & Beaugerard R. 2022: How can the forest sector mitigate climate change in a changing climate? Case studies of boreal and northern temperate forests in eastern Canada. Forest Ecosystems 9: 100026. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2022.100026>
- NIR 2023: National Inventory Report for 1985–2021. Hungary. Hungarian Meteorological Service: Budapest, Hun-gary.



- OKIR 2024: Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer <http://web.okir.hu/en/>
- OSAP 2023: <https://agrarstatistika.kormany.hu/erdogazdalkodas2>
- Pukkala T. 2014: Does biofuel harvesting and continuous cover management increase carbon sequestration? Forest Policy and Economics 43(6): 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2014.03.004>
- Rogelj J., Geden O., Cowie A. & Reisinger A. 2021: Three ways to improve net-zero emissions targets. Nature 591: 365–368. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00662-3>
- Tobisch T. & Kottek P. 2013: Forestry-Related Databases of the Hungarian Forestry Directorate, Version 1.1; Hungarian Forestry Directorate: Budapest, Hungary.

*Érkezett: 2024. 07. 23.*

*Közlésre elfogadva: 2024. 09. 16.*

# A SOPRONI EGYETEM ALKALMAZOTT FENNTARTHATÓSÁGI MODELLJE

Fábián Attila<sup>1</sup>, Lakatos Ferenc<sup>2</sup>, Elekné Fodor Veronika<sup>3</sup>, Őrsi Árpád<sup>3</sup>, Náhlik András<sup>3</sup>  
és Polgár András<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Soproni Egyetem, Rektor

<sup>2</sup>Soproni Egyetem, Kutatási és Külügyi Rektorhelyettes

<sup>3</sup>Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet  
9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4.

## Kivonat

A Soproni Egyetem a fenntarthatósági kritériumokon nyugvó, rendszerszemléletű megközelítést alkalmazva, legjobb gyakorlatai alapján létrehozta a Soproni Egyetem Fenntartható Egyetem Modelljét (SOE–FEM). Intézményi Fenntarthatósági Stratégiájában meghatározza vízióját, SMART céljait, amelyekhez Megvalósítási Programot rendel. Egyetemi intézkedéseken, munkacsomagokon (WP) keresztül a modell támogatja a Fenntartható Egyetem megvalósítását, működtetését és folyamatos fejlesztését. A SOE–FEM egy piramismodellben ölt testet, amellyel cél egy olyan egyetemi működési kultúra kialakítása, amely a fenntarthatóságot prioritásként kezeli, és más szektorokban, szélesebb társadalmi körben is tovább terjedhet. A Fenntarthatósági Stratégiára alapozottan a Soproni Egyetem meghirdette a védjegy oltalom alatt álló „Sound of Earth University of Sopron” Megvalósítási Programját (SOE–MP). Az intézkedéseket felvonultató implementációs program összhangban van az ENSZ Fenntartható Fejlődési Célokkal (SDG), és keretet ad az intézményi fenntarthatósági kultúra komplex gyakorlatba ültetésének és folyamatos fejlesztésének. A SOE–MP lényeges eleme az „Egyetem, mint Élő Labor (Living Lab Concept)” megközelítés.

**Kulcsszavak:** fenntarthatóság a gyakorlatban, piramismodell, fenntartható egyetem, megvalósítási program; Föld Hangja

## APPLIED SUSTAINABILITY MODELL OF THE UNIVERSITY OF SOPRON

### Abstract

The University of Sopron has created the Sustainable University Model of the University of Sopron (SOE–FEM) based on its best practices, applying a systemic approach based on sustainability criteria. In the Institutional Sustainability Strategy, it defines its vision and SMART goals, for which it assigns an Implementation Program. Through university measures and work packages (WP), the model supports the implementation, operation and continuous development of the Sustainable University. The SOE–FEM is embodied in a pyramid model, with which we aim to create a university operating culture that treats sustainability as a priority and that can continue to spread in other



sectors and in a wider social circle. Based on the Sustainability Strategy, the university announced the “Sound of Earth University of Sopron” Implementation Program (SOE-MP) under trademark protection. The implementation program of measures is in line with the UN Sustainable Development Goals (SDGs), and it provides a framework for the complex implementation and continuous development of the institutional sustainability culture. An essential element of the SOE-MP is the “University as a Living Lab Concept” approach.

*Keywords:* sustainability in practice, pyramid model, sustainable university, implementation program; Sound of Earth

## BEVEZETÉS

A fenntartható fejlődés irányát az egyetemek számára az ENSZ 17 Fenntartható Fejlődési Célja (SDG) határozza meg (Chankseliani & McCowan 2021). A felsőoktatási intézmények általában igyekeznek hozzájárulni az ENSZ céljainak megvalósulásához. Žaléniené & Pereira (2021) szerint a világ egyetemei hét ENSZ cél végrehajtásához is döntően hozzájárulnak (1., 3., 5., 8., 12., 13, 16.). Az egyetemi fenntarthatóság könnyebb elemzésének céljából több kutatás is alkotott már modelleket, amelyek segítenek érthetővé tenni a célokat, és az oda vezető módszereket (Gutiérrez-Mijares et al. 2023).

Minden tanulmány más-más szemszögből közelíti meg a felsőoktatási fenntarthatóság modellezését. Souza Silva és szerzőtársai (2022) modellje műszaki oldalról elemzi a campusok energiafogyasztását és azok költségeit. Gianetti és szerzőtársai (2023) a hallgatói attitűdökre alapoznak, teljesítményük, boldogságuk, és ökológiai lábnyomuk alapján rangsorolnak. Menon & Suresh (2022) modelljében kereszthatást szorító mátrixelemzést alkalmazott, és tíz fenntarthatóságot támogató tényezőt talált az egyetemek számára, úgy mint a politikai törekvések, a fenntarthatósági audit, vagy az intézményi elkötelezettség.

Bár a fenntartható egyetemi működés biztosítása a világ minden táján számos egyetem stratégiai célja lett (Brundiers et al. 2021), ennek eléréséhez mindenhol más és más út vezet, hiszen a környezeti, társadalmi és gazdasági körülmények eltérőek (Salvia et al. 2019). Dlouhá és szerzőtársai (2017) szerint a Magyarországot is magába foglaló Közép-Kelet-Európai térség egyetemeinek az utóbbi évtizedekben le kellett vetközni az 1990 előtti rendszer ideológiáit, és rá kellett állítani az intézményeket a zöld gondolatok útjára. A legsikeresebb egyetemeknek azok tűntek, ahol átfogó, az egész egyetem működésére kiható stratégiákat alkottak. Silova (2009) szerint a magyarországi egyetemek fenntarthatósággal kapcsolatos eredményei a jobbak közé tartoznak a poszt szocialista országokkal összevetésben, hiszen az ország 2004-től az Európai Unió tagja, amivel a szélesebb körű lehetőséget is megteremtette magának a fenntartható fejlődés és a zöld átmenet irányába. A Soproni Egyetem számára fontosak a fenntartható fejlődés céljai, tevékenységével példát kíván mutatni a magyar és Közép-Európai Egyetemek számára (Fábián et al. 2023).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A Soproni Egyetem a nyugat-magyarországi régió kiemelkedő szellemi, oktatási és kutatási központja. Az egyetem négy karán (Erdőmérnöki Kar, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Benedek Elek Pedagógiai Kar, Lámfalussy Sándor Közgazdaságtudományi Kar) évszázados hagyományokba

ágyazottan folyik az oktatás. A Soproni Egyetemhez a közelmúltban kapcsolódó Erdészeti Tudományos Intézetet 1898-ban alapították. Az Intézet kutatási és fejlesztési projektjei, számos tudományterületen (ökológia, erdőgazdálkodás, erdészeti nemesítés, erdővédelem, erdőművelés, erdővagyon gazdálkodás) a fenntartható erdőgazdálkodást szolgálja. A Soproni Egyetem a természeti, társadalmi és ember alkotta környezet alakítására törekszik, tevékenysége az életminőség megőrzését és javítását célozza a környezettudatos gondolkodásmód révén. Erkölcsi és emberi értékeket ápol, működésével a régió és az egész ország fejlesztésére törekszik.

Az egyetem a modellváltással (alapítványi fenntartású egyetem) a fenntarthatóságot állította tevékenysége középpontjába az oktatási, kutatási, szolgáltatási, harmadik missziós és intézményi működési aktivitásaiban. Múltjából adódóan, szellemiségében mindig is magáénak tudta a „Zöld Egyetem” koncepciót. „Folyamatosan megújuló, (m)értéktadó, egyetemi tudásközpont Közép-Európában.” Stratégiai céljával a zöld infrastruktúra fejlesztését és a társadalmi szemléletformálást tűzte ki. Mérföldköveit a nettó zéró klímasemlegesség, klíma- és természetpozitivitás, valamint a környezettudatosság üzenetének közvetítésével, az egyetemi hallgatók és a lakosság aktív bevonásával igyekszik elérni.

A fenntarthatósági szemlélet nagy hangsúlyt kap, egyre inkább átszövi a mindennapi működést is. Egyetemünk a legkomplexebb módon képes átadni az erdei ökoszisztéma és a benne megszülető faanyag tudásintenzív kezelésére, tartamos használatára vonatkozó ismereteket (Chen 2022), amely a fenntartható erdő alapú gazdaság alapja. A természettudományi, klímaadaptációs és műszaki kutatások mellett a környezeti nevelési, pedagógiai, de éppúgy a gazdasági és társadalomtudományi aspektusokban is megközelíti a fenntarthatóság komplex kérdéseit.

Mintatantervi reformot hajtottunk végre, a fenntarthatóság témakörének magas szintű tantervi integrálása minden képzésünk esetén kiemelt figyelmet kapott. A fenntarthatóság egyes szakoknál teljes egészében (pl. erdőmérnök, faipari mérnök, környezetmérnöki, természetvédelmi mérnöki) átszövi a mintatanterveket, máshol blokkokban jelenik meg (pl. építőművészet faépítészeti vonatkozásai, kisgyermeknevelés és óvodapedagógia környezeti nevelési kérdései, ökonómiai képzések ökológiai aspektusai).

A Soproni Egyetem fenntarthatósági törekvései során kiemelt figyelmet fordít a klíma és a biodiverzitás védelmére, továbbá az ökoszisztéma helyreállítására (Doelman 2022). Alapító és első magyar regisztrált tagja a „Természetpozitív Egyetemek Szövetségé”-nek (NPU 2022). A Soproni Egyetem SMART célokon keresztül jegyezte be fejlesztési programjait („Nature Positive Pledge”). Az egyetem legfontosabb természetpozitív vállalásai, a Botanikus Kert átfogó fejlesztése (kampuszfejlesztés), az intézményi karbonsemleges működés felé való elmozdulás és az egyetem erdősítési programja (Hűségerdő).

A Soproni Egyetem módszerében a stratégiai megközelítést vallja magáénak, a fenntarthatóság megvalósítását a legmagasabb szinten végzi. E tevékenységeit legjobb gyakorlatokként kívánja elérhetővé tenni a társintézményeknek. A hálózatosodásból fakadóan a párbeszéd, tudásmegosztás, közös fenntarthatósági kurzusok indítása, az egymástól való tanulás irányába mozdul el. Alapító tagja a 17 SDG megvalósítását és elérését elősegítő fejlesztések iránt elkötelezett hazai felsőoktatási intézmények által létrehozott Magyar Egyetemek Fenntarthatósági Platformjának (SPHU 2022).

A fenntarthatósággal kapcsolatos tevékenységével, teljesítményével önmagát és a jövőt építi. Magyarország „Zöld Egyeteme” a fenti szemléletből fakadóan maximálisan elkötelezett minden olyan kezdeményezés iránt, amely a gazdasági, társadalmi vagy természeti fenntarthatóságot szol-

gálja. Ezt az attitűdöt üzeni az Egyetem egyént és természetet középpontba állító „Természetesen Veled!” jelmondata is.

A Soproni Egyetem döntéshozói és zöld egyetemi munkacsoportja, fentiek miatt döntött egy saját egyetemi fenntarthatósági modell létrehozásáról, mely általános és gazdálkodási aspektusokban is bemutatja a kritériumokat.

## EREDMÉNYEK

### A Soproni Egyetem Fenntartható Egyetem Modellje

Társadalmi elvárások alakultak ki a fenntartható fejlődés, az átláthatóság és az elszámoltathatóság iránt, az egyre szigorodó jogszabályok, a környezetszennyezésből, az erőforrások nem hatékony felhasználásából, a helytelen hulladékgazdálkodásból, a klímaváltozásból, az ökoszisztémák leromlásából és a biológiai sokféleség elvesztéséből származó, a környezetre gyakorolt növekvő nyomás mellett. Ez arra készítette a szervezeteket, hogy módszeres megközelítést alkalmazzanak az erőfeszítések támogatására (Velazquez et al. 2006; Urquiza Gomez et al. 2015; Menon & Suresh 2022).

A Soproni Egyetem a fenntarthatósági kritériumokon nyugvó, rendszerszemléletű megközelítést alkalmazó módon, legjobb gyakorlatai alapján létrehozta a Soproni Egyetem Fenntartható Egyetem Modelljét (SOE–FEM). Intézményi Fenntarthatósági Stratégiájában (UoS 2019) az egyetem meghatározza vízióját, SMART céljait, melyekhez Megvalósítási Programot rendel. Egyetemi intézkedéseken, munkacsomagokon (WP) keresztül a modell támogatja a Fenntartható Egyetem megvalósítását, működtetését és folyamatos fejlesztését. Megalapozza mindazokat a stratégiai lépéseket is, amelyek az elméleten túlmutatva, a gyakorlatba helyezik a fenntarthatóságot, környezet megóvását, tudatos és önkéntes védelmét.

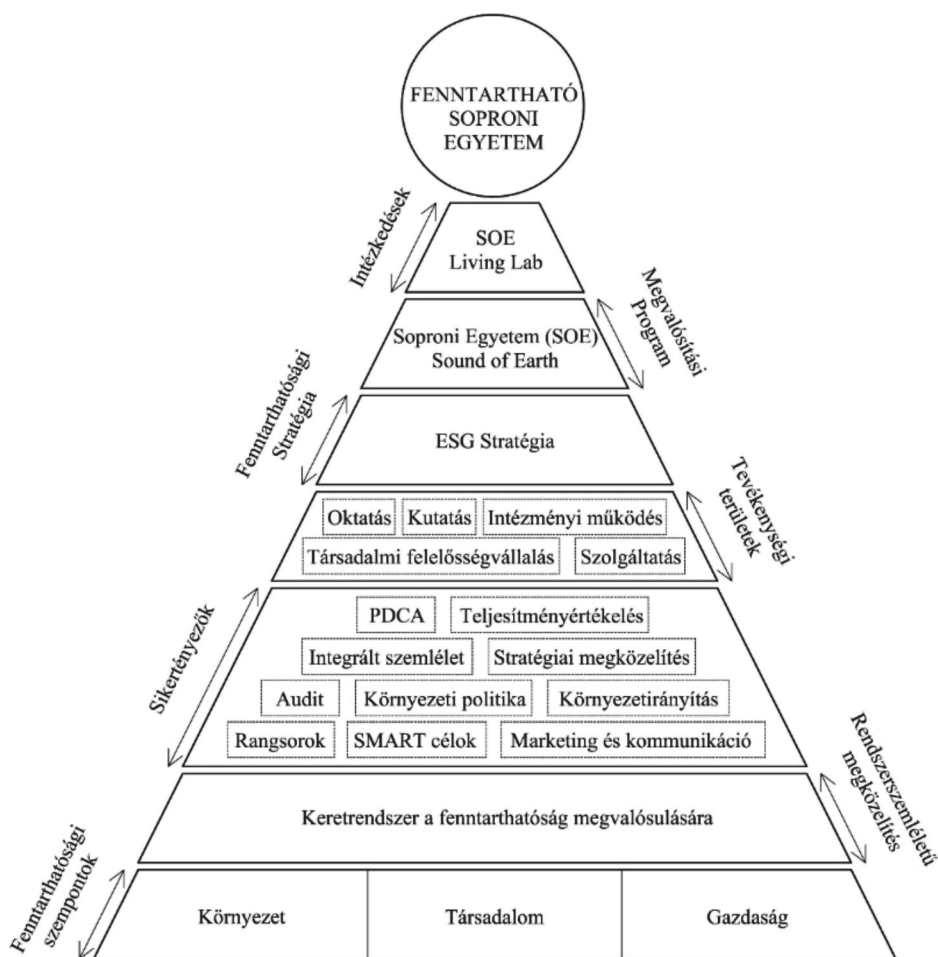
A logikai szerkezet alapján részletesen kidolgozott SOE–FEM az 1. ábrán látható piramismodellben ölt testet. Célunk egy olyan egyetemi működési kultúra kialakítása, amely a fenntarthatóságot prioritásként kezeli. Az egyetemi fenntarthatósággal kapcsolatos kultúra nemcsak a felsőoktatási, hanem más szektorokban, szélesebb társadalmi körben is tovább terjedhet. Az alkalmazók megvalósíthatják a Soproni Egyetem ajánlott, legjobb gyakorlatait és projektjeit, a saját szervezeti környezetükben, testre szabott módon. A következőkben az alapoktól kezdve mutatjuk be a Soproni Egyetem esetében a modell alkalmazását és a legjobb gyakorlatokat.

A SOE–FEM fenntarthatósági kritériumokon és rendszerszemléleten alapul. Környezeti hatásait tekintve szisztematikusan integrálja és meghatározza magát fizikai (telephelyi), táj szintű és szervezeti környezetében, valamint az érintettekkel kapcsolatban.

Az egyetem az ISO 14001:2015 nemzetközi szabvány szerint tanúsított Környezetközpontú Irányítási Rendszert (KIR) működtet és tart fenn. Keretrendszerként biztosítja az intézményi környezeti teljesítmény folyamatos fejlesztését és a fenntarthatósági pillérekhez való hozzájárulást. A környezetiirányítási rendszerelemek mentén szerveződik a működés, úgymint: alkalmazási terület rögzítése; környezeti politika megalkotása; szerepek, felelősségi körök és hatáskörök rögzítése; megfelelőségi kötelezettségek nyomon követése és figyelembe vétele; SMART célok kitűzése; támogatás és erőforrások biztosítása; dokumentáltság; felkészültség; marketing és kommunikáció,



vezetői átvizsgálás. A SOE–FEM hatékonysága számos sikertényezőtől is függ, melyek: a vezetői és alkalmazotti elkötelezettség; stratégiai megközelítés; integrált szemlélet; PDCA-elv alkalmazása; folyamatos fejlesztés elve (ISO 2015); folyamatszemléletben való megközelítés; tudatos önértékelés rendszerének kialakítása; értékelési ciklusok kialakítása; harmadik fél általi megerősítés; környezeti és fenntarthatósági teljesítményértékelés.



1. ábra: A Soproni Egyetem Fenntartható Egyetem Modellje (SOE –FEM). Piramismodell  
Figure 1: Pyramid model. The Sustainable University Model of the University of Sopron (SUM-UoS)

A környezeti és fenntarthatósági teljesítményértékelés több vonalon valósulhat meg. A tanúsított MSZ EN ISO 14001:2015 szabvány szerinti intézményi környezetközpontú irányítási rendszer sikeres tanúsítása a nemzetközi szabvány követelményeinek való megfelelést igazolja. Emellett kiemelt fontosságú, hogy az egyetem hazai és nemzetközi szinten is összehasonlíthassa erőfeszítéseinek eredményeit más felsőoktatási intézményével. Ennek kiváló lehetősége az egyetemek fenntarthatósági nemzetközi rangsorolásában (UI GreenMetric 2023; THE Impact Rankings 2023) való részvétel, ahol meghatározott indikátorrendszer mentén mérhető és támasztható alá a teljesítmény.

A SOE–FEM magában foglalja az egyetem klasszikus tevékenységeit, vagyis kiterjed az oktatásra, kutatásra, szolgáltatásra, harmadik missziós tevékenységekre és az intézményi működésre. A környezeti (environment – E), társadalmi (social – S) és az irányítási (governance – G), vagyis ESG kritériumok (Khan 2022) szerint történő átlátható működtetés és a gazdasági fenntarthatóság kulcsfontosságú. Az aktivitásokat az a fenntarthatósági szemlélet határozza meg, amely modern megközelítésben az ESG megfelelés és az ENSZ Fenntartható Fejlődési Célok szerint szerveződik, és e témakörökben szükségszerűen jelentős átfedést is mutat.

A fenntarthatósági kritériumokra alapozottan a Soproni Egyetem meghirdette a „Sound of Earth” – „Föld Hangja” – Soproni Egyetem Megvalósítási Programját (SOE–MP), amely védjegy oltalom alatt áll (2. ábra). Az intézkedéseket felvonultató implementációs program összhangban van az ENSZ Fenntartható Fejlődési Célokkal. A SOE–MP többet is nyújt a pusztá SDG megfeleléshez képest. Keretet ad az intézményi fenntarthatósági kultúra komplex gyakorlatba ültetésének és folyamatos fejlesztésének.



2. ábra: A „Sound of Earth” – „Föld Hangja” – Soproni Egyetem Megvalósítási Program védjegye.

Grafikai terv: Soproni Egyetem, Bogáti Gergely, 2023

Figure 2: Protected trademark of the Sound of Earth University of Sopron Implementation Program.

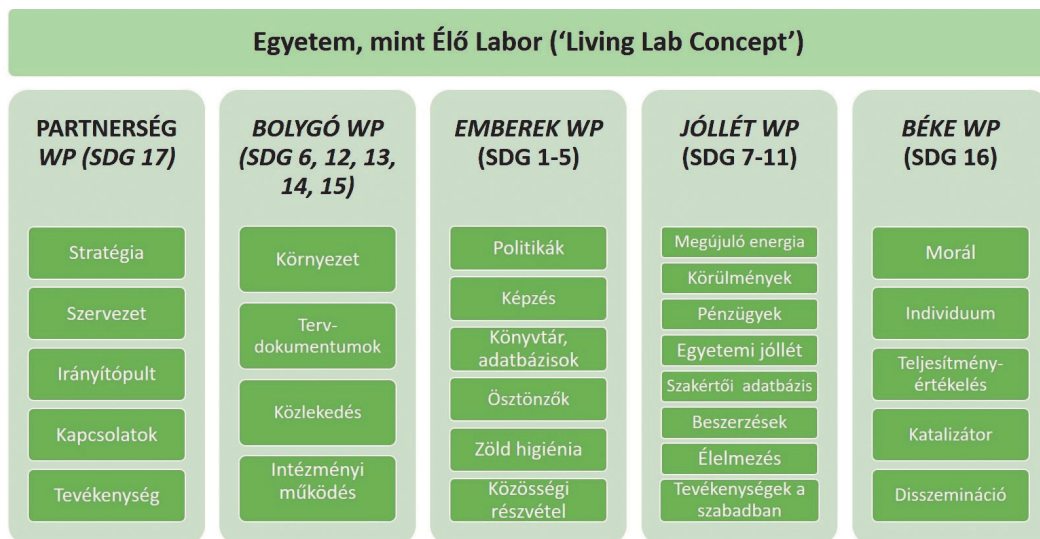
Graphic design: University of Sopron, Gergely Bogáti, 2023

A Megvalósítás Program SDG-en alapuló (UN 2015) tematikus munkacsomagokat tartalmaz. Az Egyetem, mint Élő Labor (‘Living Lab Concept’) (Kumdokrub et al. 2023; Verbeek et al. 2023) keretként tartalmazza az munkacsomagokat és intézkedéseket. A Living Lab koncepció magában foglalja: a zöld és épített egyetemi környezet multifunkcionális használatát a fenntarthatósági törekvések szolgálatában; a hallgatók, oktatók, mentorok, kutatók és alkalmazottak valós környezetben fejleszthetik elképzeléseiket és visszacsatolási hurkokon keresztül vizsgálhatják a megvalósulást. Az Intézkedések során a teóriák és gyakorlati megvalósítás egyensúlya elsődleges. Az 1. táblázat összefoglalja az egyes SOE–MP munkacsomagok (Partnerség, Bolygó, Emberek, Jólét, Béke) legfontosabb intézkedési területeit.

Az alábbiakban az egyes munkacsomagokat részletezzük, hivatkozva a nemzetközi jó gyakorlatokhoz való kapcsolódásokat és azok figyelembe vételét is. A „Partnerség WP” (SDG 17) részeként a fenntarthatóság eszméjének intézményi „Stratégiában” való megjelenése érdekében a fenntarthatósági küldetésnyilatkozat, jövőkép rendszerelem megfogalmazása prioritás, amely rögzíti a szükséges filozófiát, attitűdöt. Keretet ad az integrált szemléletet tükröző egyetemi fenntarthatósági stratégiának.

1. táblázat: A "Sound of Earth" – „Föld Hangja” – Soproni Egyetem Megvalósítási Program (SOE-MP) intézkedési területei az egyes tematikus munkacsomagokban

Table 1: Areas for action in the Sound of Earth University of Sopron Implementation Program thematic work packages



A hatékony működés feltételezi a fenntarthatóságért felelős „Szervezetet”. Ennek definiálása céljából meghatározó a múltbéli törekvések, a fenntarthatósági identitás alapjainak megértése érdekében az intézményi fenntarthatósági történet rögzítése, az elért és elérendő főbb mérföldkövek meghatározása. A jelen és jövő igényeinek való megfelelésért létre kell hozni azt a koordinációs szerepkörű fenntarthatósági munkaszervezetet, mely kijelölt felelős személy vagy munkacsoport szintjén is implementálható. A szervezetben a fenntarthatósági teljesítményindikátorokhoz szükséges leltáradatok folyamatos rendelkezésre állását az adatmenedzserek biztosítják. A szervezeti egységeknél a további felelősök a fenntarthatósági nagykövetek szerepkörben segítik a munkát.

Az átláthatóságot, számszerűsítést, megértést, tudatosságot és a mért adatokon alapuló irányítást az „Irányítópult” biztosítja, ami szerint idősoros vagy akár valós időben is elérhetővé válhatnak a publikus adatok a fenntarthatóságról (pl. ÜHG emissziók pillanatnyi alakulása).

A tudásmegosztás és a közös erőfeszítések sikere érdekében a kiterjedt „Kapcsolati háló” megléte kulcsfontosságú. A globális gondolkodás a nemzetközi szintű, míg a lokális cselekvés az egyetem – város – régió kapcsolatok szintjén valósulhat meg.

Az átfogó vagy szakosított típusú egyetemi profilhoz tartozó „Tevékenység” körvonalazza az elérhető fenntarthatósági erőfeszítéseket. A fenntarthatósági oktatás, tanulás, kutatás, tudatformálás, szolgáltatás fő tevékenységek specifikumai mentén alakul ki a teljesítmény. A rendszerszemléletű, módszeres megközelítést és az átfogó tevékenység tervezést az egyetemi és közösségi tervdokumentációs rendszer (mesterterv) jelenti. Az egyetem, mint Élő Labor Konceptió (Living Lab Concept) rendszerelem a konkrét megvalósítás színterét nyújtja, melyhez szorosan kapcsolódhatnak akár különböző kampányok is (pl. neves napok, TeSzedd!).

A „Bolygó – Planet WP” (SDG 6, 12, 13, 14, 15) keretén belül a fenntartható „Környezet” megértése érdekében az intézmény elhelyezi magát környezeti elemegüttesek és környezeti rendszer szinten is. A természeti környezetben a zöld környezet fejlesztése, a természetpozitivitás, biodiverzitás erősítése, a művi környezetben az infrastruktúra folyamatos fejlesztése és környezeti rendszer szinten a tájszintű fenntarthatósági kutatások rendszerelemek adnak lehetőséget a komplex megközelítésre.

A Mestertervhez kapcsolódóan a különböző „Tervdokumentációk” rögzítik és fejtik ki a főbb irányokat, a specifikus előírásoknak való megfelelés módját. Ilyen dokumentáció lehet a fenntarthatósági jelentés (Caputo et al. 2021), földhasználati terv, klímastratégia, ÜHG leltár, karbonlábnyom számítás, karbonsemlegesség, CO<sub>2</sub> redukciós terv, klímaakcióterv (Malthan-Hill et al. 2019), vízgyűjtő stratégia (Li et al. 2022), hulladékgazdálkodási terv és a zero waste akcióterv (Hannon et al. 2019).

A közvetlen diffúz környezeti hatásokért és a közvetett háttérhatásokért nagyban felelős a „Közlekedés”. Figyelemmel kell lenni a fenntartható (tömeg)közlekedés (Luttik-Maters 2022), ingázás, kiküldetések, autómentes, gyalogosbarát kampusz, zéró emissziós járművek, telekocsizás (Werkmeister et al. 2021), business repülőutak területeinek optimalizálására és az elért hatékonyság növelésére.

Az egyetem klasszikus tevékenységei mellett a fenntartható „Intézményi működés” is számos feladatot ír elő a működésből adódó minél kedvezőbb környezeti terhelés elérése érdekében. Tudatos intézményi hulladékgazdálkodás, szelektív gyűjtés (Gulyás-Veres 2023), komposztálás (Saalah 2019) megvalósítása mellett figyelemmel kell lenni az újrahasználatra, tartós termékek előtérbe helyezésére, a papír- és műanyagmentességre (Gherheş et al. 2021). A globális felmelegedés elleni küzdelemben az intézményi klímavédelem és -adaptáció, a tudatos intézményi energiamenedzsment (Javed 2021), energiahatékonyság fokozása prioritás és napjainkban jelentős gazdasági kérdés is. A fenntartható vízgazdálkodás érdekében át kell tekinteni az intézményi vízgazdálkodás, takarékos vízhasználat, esővíz megtartás (Pachamuthu 2021), vízvédelem, szennyvízkezelés lehetőségeit. A zöld épület irányelvek (Abdelalim et al. 2015) mentén a jó tájolás, a természetes ventilláció, természetes megvilágítás lehetőségei, zöld környezet általi klimatizálás stb. számos előny elérését teszi lehetővé. A fenntartható fogyasztás (Castillo Longoria et al. 2021) rendszerleme az erőforrásokkal való gondos bánásmódot teszi lehetővé és tervezhetővé.

Az „Emberek – People WP” (SDG 1-5) esetében a „Politikák” aktivitási területen az intézménynek át kell gondolnia a humán vonatkozású irányelveit, mint a gyermekvédelem, anyasági és apasági politika, élethosszig tartó tanulás és az akadálymentesítés.

A hatékony működésért a tudatosság és kompetencia fokozását a „Képzés” biztosítja, mely kiterjed a dolgozók, hallgatók fenntarthatósági képzésére, a fenntarthatósággal kapcsolatos kurzusok, kiemelten a klímaoktatás folyamatos monitorozására. A fenntarthatósági mikrotanúsítványok a megszerzett kompetenciák igazolására szolgálnak és kiegészítik a mindenkor okleveleket. Erős támogatást és háttérrel nyújt a mindenki számára elérhető „Könyvtári szolgáltatások és adatbázisok” fenntartása és fejlesztése.

A siker eléréséhez szükség van hatékony „Ösztönzőkre”, mint a fenntarthatósági tudományos programok, fenntarthatósági ösztöndíjak (hallgatói, oktatói), klíma ösztöndíjak (hallgatói, oktatói, kutatói) és a kiemelt kutatócsoportok támogatása.

A pandémia és fertőző betegségek rávilágítanak a higiénia fontosságára, mely területen a környezetbarát, szelíd tisztítószer alkalmazását, vagyis a „Zöld Higiénia” megoldásait folyamatosan előtérbe kell helyezni.

A „Közösségi részvétel” a hallgatói akciócsoportok működésével, fenntarthatósági események, programok szervezésével érhető el, valamint a rendszeres hírekkel, beszámolókkal.

A „Jóllét – Prosperity WP” (SDG 7-11) esetében az energetikai trilemma szerint a „Megfizethető, tiszta, megújuló energia és az ellátásbiztonság” prioritást élveznek. A munkacsomag hatékonysága érdekében a megfelelő „Körülmények” biztosítására, vagyis a megfelelő munka-, oktatási, tanulási környezet, valamint tágabb értelmezésben a városökológia és innováció (Wu 2014) rendszerelemek harmóniájára van szükség.

A „Pénzügyek” területén meg kell érteni az éghajlatváltozással és fenntarthatósággal kapcsolatban felmerülő pénzügyi kérdéseket, valamint a változásokat és az új finansziális kihívásokat (pl. környezeti költségek).

A munkacsomagot befolyásolják az általános „Egyetemi Jóllét”, „Szakértői adatbázisok” területén kifejtett aktivitások. A jóllétet befolyásoló „Beszerzések” során fenntarthatósági prioritások a méltányos kereskedelem (Kim 2023), fenntartható ellátási láncok (Mejia-Manzano 2023) és az etikus anyagbeszerzés kérdései. De éppúgy az „Élelmezés” során a fenntartható élelmezés (Pasquier Merino et al. 2022) vagy a közösségi kertek (Baur 2022) kezdeményezései is.

A „Tevékenységek szabad/zöld térben” az érzelmi, kulturális vonalon erősítik az ember és természet kapcsolat megértését, amiben nemcsak a művészet, zene, irodalom, a szelíd turizmus (Rinaldi et al. 2022), természettudományok művelése, ehető növények ismerete, hanem a releváns mérnöki elemzések rendszerelemei is mérvadóak.

A „Béke – Peace WP” (SDG 16) tekintetében alapvető és meghatározó tevékenységi terület a „Morál”, ahol közösségi szinten az emberi jogok védelme, a diszkrimináció visszaszorítása, a fenntarthatósági politikák (SDG kapcsolódásokkal) és az egyetemi szabadságpolitika rendszerelemek implementálandók. Az individuum szintjén jelentkező meghatározó motívumok a hallgatói szerepvállalás, vezetői képességek fejlesztése és a fenntarthatósági identitás kialakítása.

A „Teljesítményértékelés” feltétlenül szükséges a kitűzött célok elérésének elemzésében és a rendszer optimalizálásában. E tekintetben ki kell alakítani a fenntarthatóságot értékelő és minősítő rendszert, biztosítani kell az összehasonlíthatóságot. Az egyetemi fenntarthatósági világgrangsorokban való megmérettetés (Galleli et al. 2022) és a nívv díjak (IGGA 2022) megszerzése mind segítik e tevékenységi területet.

Szintén ebben a munkacsomagban kell az egyetem „Katalizátor szerepét” erősíteni, vagyis a fenntarthatósággal, az elért teljesítménnyel, legjobb gyakorlatokkal, folyamatos fejlesztéssel kapcsolatos disszeminációs aktivitást kifejteni.

## A Soproni Egyetem fenntartható egyetemi gazdálkodási modellje

Általában megállapíthatjuk, hogy azok az egyetemek mozdulnak el a fenntartható gazdálkodás irányába (Lukman & Glavic 2007; Grecu & Ipina 2014), akik vagy válságövezetben vagy periférikus helyzetben, vagy erős versenykörnyezetben működnek, de előfordul az is, hogy olyan képzési struktúrával rendelkeznek, amelyek alacsony üzemméreti hatékonyságot biztosítanak. Ebben az esetben a megoldás a megszokottól eltérő expanzió, egy a megszokott irányítási és fenntartói rendszerétől eltérő modell szerinti működés. A nem hatékony üzemméret, az erős piaci verseny a fennmaradásért folytatott küzdelem felé, az erős kitörési szándék kényszeríti ezen intézményeket a megújulásba. Kezdetben sok-sok konfliktus, intézményi válság, számos érdeksérelem, váratlan fordulatok, néha



kudarok kísérik az átalakulást. A fenntartható gazdálkodási modell váltás sikere nagyban múlik azon, hogy az akadémiai oldal nyertese vagy vesztese lesz-e a reformnak. A korábban is sikeres fejlesztők eredményeinek vizsgálatát, rövid távon az egyetem fő tevékenységi körének modernizálása igényli. Sokszor olyan feladatok finanszírozására is fordítani kell, amelyek a nagy hallgatói létszámmal, gazdasági centrumtérben működő intézmények számára ismeretlenek. Alapinfrastruktúra rehabilitáció, szervezeti racionalizáció, térhasználat racionalizáció, energia audit, megtakarítási és megújítási terv. Ezen beavatkozások nélkül sem önmagukban, sem a felsőoktatási versenyben nem lennének fenntarthatók. Elengedhetetlen a megvalósítás sikeréhez az egyetemi közösségi gondolkodás és gyakorlat teljeskörű vezetői alkalmazása, mert a célok mögé mindenkinek be kell állnia.

A People & Planet University League (People & Planet 2015; Jones 2017), amely az Egyesült Királyság egyetemeinek környezeti és etikai teljesítményét rangsorolja, számos olyan kritériumot említ, ami elengedhetetlen része gazdálkodási reformnak. Ezeket önálló és egyetemi szintű elvekkel kiegészítve, a következő feladatok és beavatkozási lehetőségek állnak az egyetemek előtt:

- környezeti politika és stratégia kialakítása
- környezeti menedzsment és audit rendszerek kialakítása (ISO 2015)
- fenntarthatóság iránt elkötelezett szakértői csapat felállítása
- munkavállalók és hallgatók bevonása a szemléletformálásba
- munkavállalói belső jogrendszer kialakítása (feladatok, hatáskörök, kötelezettségek)
- fenntartható fejlődés oktatása
- szén-dioxid-kibocsátási stratégia kialakítása, kibocsátás csökkentése (ISO 2018)
- fenntartható energiaforrások használata (világítás, fűtés, hűtés – napenergia, földhő, biomassza kombinált alkalmazása)
- vízfelhasználás csökkentése
- okos mérési rendszerek kialakítása, épületfelügyelet és audit (épület, energia, vagyonvédelmi felügyeleti rendszer kialakítása (EnergySMART))
- fenntartható beruházások és épületszerkezetek (pl. a faépítészet és zöld építészet fejlesztése és alkalmazása, kapszulaház program, autonóm klimatizálási program)
- hulladékkezelés és újrahasznosítás (hagyományos, bio- és e-hulladék kezelési stratégia, ipari hulladékból ipari melléktermék. Soproni Egyetem: fahulladék kezelési stratégiai helyett faipari melléktermék stratégia)
- fenntartható élelmiszerek és csomagolóanyagok használata
- fenntartható közlekedési stratégia (autómentes övezetek, elektromos gépjárművek, kerékpáros és gyalogos közlekedés támogatása)
- etikus befektetési és visszanyerési irányelvek (pl. Energiahatékonysági Kötelezettségi Rendszer (Pereira & da Silva 2017); Fehér kötvények, másodlagos CO<sub>2</sub> kvóta piaci megjelenés) kialakítása
- a terület- és térhasználat optimalizálása.

Az átalakítás ötfázisú, implementálása a Soproni Egyetem vonatkozásában a következő ütemezésű:

1. fázis: Intézményi strukturális és tartalmi reform, a térredukció tervezés, energiamodernizáció tervezés (állapotfelmérés, az új állapot megtervezése).

2. fázis: Az átalakítások lebonyolítása, energia- vagyon- és katasztrófavédelmi felügyeleti rendszer kiépítése – SMART UNI program (Berdnikova et al. 2020), melyet Sopronban a „Sound of Earth”



megvalósítási programként indítottunk útjára. A folyamatszabályozás és kontroll rendszerek bevezetése és működtetése, amely magában foglalja a műszaki, gazdasági, szakmai kontroll rendszer kiépítését is (energia, anyag és eszközárak, infrastruktúra fejlesztés és működtetés felügyelete és szabályozása).

3. fázis: Diffúziós szakasz, az új állapothoz igazított brand, entitás és kommunikáció kialakítása. Ide tartozik az oktatásfejlesztés, konzekvens kutatási stratégia, szervezetfejlesztés és kommunikáció lépései.

4. fázis: Fenntarthatósági Tudásközpont („Sound of Earth” Sustainability KnowledgeHUB) kialakítása a jó gyakorlatok, fejlesztések disszeminációjára és értékesítésére. Ez a szervezet hivatott mind a tudásturizmus, mind a keletkező értékek értékesítésére és az egyetemi zöld fejlesztések koordinálására, valamint az akkreditált mérések, tanúsítási rendszerek működtetésére.

5. fázis: Ökotechnológiai Fejlesztési Science Park kialakítása a Soproni Egyetemen, amelybe a Fenntarthatósági Tudásközpont végül beintegrálódik.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A fenntarthatóság fogalma mára kulcsfontosságú lett az élet, és azon belül a tudomány szinte minden területén, ezért elengedhetetlen, hogy az egyetemek, és azok vezetői figyelembe vegyék annak környezeti, társadalmi, és gazdasági vetületeit. Ezt a Soproni Egyetem is felismerte, így évről-évre egyre nagyobb hangsúlyt fektet a fenntarthatósággal kapcsolatos stratégiája megvalósítására.

A Soproni Egyetem Sound of Earth Megvalósítási Programban bemutatott munkacsomagok, aktivitási területek és rendszerelemek koherens, rendszerszemléletű tervezése, bevezetése, fenntartása és működtetése garanciát jelent a fenntarthatósággal kapcsolatos teljesítmény folyamatos fejlesztésére.

A Soproni Egyetem elkötelezett a fenntarthatósági teljesítményének nemzetközi értékelése iránt, ezért 2020 óta részt vesz a fenntartható egyetemi világranglistákon, mint például az UI GreenMetric, és évről-évre egyre jobb eredményeket ér el. 2023-ban a világranglistán a 130. (közel a TOP10%-hoz), az európai egyetemek között a 47., a magyar felsőoktatási intézmények között a 3. helyen áll. 2023-ban elérte az összpontszám 82%-át, ami kb. 180%-os emelkedést jelent négy értékelési ciklus alatt, ami egyedülálló Magyarországon. A legjobb pozíciók megőrzése érdekében az egyetem vezetése fenntarthatósággal kapcsolatos infrastrukturális fejlesztéseket végzett, mint például biomassza fűtőmű építése, hulladékgazdálkodási rendszer átfogó fejlesztése, szelektív gyűjtőedényzet és kérekpárok beszerzése. Egyetemünk legerősebb indikátorcsoportjai az „Energia és klímaváltozás”, a „Vízgazdálkodás”, a „Közlekedés” és az „Oktatás és Kutatás”, ezekben a magyar egyetemek közül vezető pozíciót tölt be.

Az átalakítás és fejlesztés célja az energia- és környezettudatos, innováció orientált, gazdálkodásában takarékos, hatékony és fenntartható egyetem kialakítása. Ezzel nem csak az intézmények számára oly fontos nemzetközi fenntarthatósági rangsorokban lehet a legkiválóbbak közé tartozni, hanem az intézmény gazdálkodása válik fenntarthatóvá, gazdasági- és energiaválság rezilienciája erősödik, kitérősége csökken, végezetül erősödik értékesítési potenciálja. A Soproni Egyetem az ökotechnológia Közép-európai innovációs központjává kíván válni, mint a világ egyik legfenntarthatóbb egyeteme.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Abdelalim A., O'Brien W. & Shi Z. 2015: Visualization of energy and water consumption and GHG emissions: A case study of a Canadian University Campus. *Energy and Buildings* 109:334–352. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.058>
- Baur J. 2022: Campus community gardens and student health: A case study of a campus garden and student well-being. *Journal of American College Health* 70(2):377–384. <https://doi.org/10.1080/07448481.2020.1751174>
- Berdnikova L.F., Sergeeva I.G., Safronov S.A. Smagina A.Z. & Ianitskii A.I. 2020: Strategic Management of Smart University Development. In: Uskov V., Howlett R. & Jain L. (eds) *Smart Education and e-Learning. Smart Innovation, Systems and Technologies* Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5584-8\\_25](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5584-8_25)
- Brundiers K., Barth M., Cebrián G., Cohen M., Diaz L., Remington S.D. et al. 2021: Key competencies in sustainability in higher education—toward an agreed-upon reference framework. *Sustainability Science* 16:13–29. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00838-2>
- Caputo F., Ligorio L. & Pizzi S. 2021: The Contribution of Higher Education Institutions to the SDGs - An Evaluation of Sustainability Reporting Practices. *Administrative Sciences* 11:97. <https://doi.org/10.3390/admsci11030097>
- Castillo Longoria L., López-Forníes I., Cortés Sáenz D. & Sierra-Pérez J. 2021: Promoting sustainable consumption in Higher Education Institutions through integrative co-creative processes involving relevant stakeholders. *Sustainable Production and Consumption* 28:445–458. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.06.009>
- Chankseliani M., McCowan T. 2021: Higher education and the Sustainable Development Goals. *Higher Education Springer* 81:1–8. <https://doi.org/10.1007/s10734-020-00652-w>
- Chen S., Chen J., Jiang C., Yao R.T., Xue J., Bai Y. et al. 2022: Trends in Research on Forest Ecosystem Services in the Most Recent 20 Years: A Bibliometric Analysis. *Forests* 13:1087. <https://doi.org/10.3390/f13071087>
- Dlouha J., Glavi P. & Barton A. 2017: Higher education in Central European countries - Critical factors for sustainability transition. *Journal of Cleaner Production* 151:670–684. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.022>
- Doelman J.C. & Stehfest E. 2022: The risks of overstating the climate benefits of ecosystem restoration. *Nature* 609(7926):E1–E3. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04881-0>
- Fábíán A., Polgár A., Elekné Fodor V., Őrsi Á. & Lakatos F. 2023: Green University - Sustainability in Practice. Challenges in Carpathian Basin – 16<sup>th</sup> International Conference on Economics and Business, Miercurea Ciuc, Romania.
- Galleli B., Teles N.E.B., Santos J.A.R.D., Freitas-Martins M.S. & Hourneaux Junior F. 2022: Sustainability university rankings: a comparative analysis of UI green metric and the times higher education world university rankings. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 23(2):404–425. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-12-2020-0475>
- Gherheș V., Cernicova-Buca M., Fărcașiu M. & Palea A. 2021: Romanian Students' Environment-Related Routines during COVID-19 Home Confinement: Water, Plastic, and Paper Consumption. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158209>
- Giannetti B.F., Agostinho F., Almeida C.M.V.B., Alves Pinto Jr M.J., Chirinos Marroquín M. & Delgado Paredes M. 2023: A quantitative assessment model for students' sustainability: evidence from a Peruvian university. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 24(8):1744–1767. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2022-0234>
- Grecu V. & Ipiña N. 2014: The Sustainable University - A Model for the Sustainable Organization. *Management of Sustainable Development* 6:2
- Gulyás M. & Veres P. 2023: Assessment and development of the selective waste collection at the University of Miskolc. *Advanced Logistic Systemractice* 17(2):54–60. <https://doi.org/10.32971/als.2023.016>
- Gutiérrez-Mijares M.E., Josa I., Casanovas-Rubio M.M. & Aguado A. 2023: Methods for assessing sustainability performance at higher education institutions: a review. *Studies in Higher Education*. <https://doi.org/10.1080/03075079.2023.2185774>
- Hannon J., Zaman A., Rittl G., Rossi R., Meireles S. & Palandi F.E.D. 2019: Moving Toward Zero Waste Cities: A Nexus for International Zero Waste Academic Collaboration (NIZAC). In: Leal Filho W. – Bardi U. (eds)

- Sustainability on University Campuses: Learning, Skills Building and Best Practices. World Sustainability Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15864-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15864-4_24)
- IGGA 2022: International Green Gown Awards. <https://www.greengownawards.org/>
- ISO 2015: ISO 14001 2015: Environmental management systems. Requirements with guidance for use
- ISO 2018: ISO 14064-2018: Greenhouse gases. Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals
- Jones D.R. 2017: Opening up the Pandora's box of sustainability league tables of universities: a Kafkaesque perspective. *Studies in Higher Education* 42(3):480-503. <https://doi.org/10.1080/03075079.2015.1052737>
- Khan M.A. 2022: ESG disclosure and Firm performance: A bibliometric and meta analysis. *Research in International Business and Finance* 61:101668. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2022.101668>
- Kim E. 2023: Sustainable New Product Development for Ten Thousand Villages, a Fair-Trade Social Enterprise: Empowering Women and Economic Development through Problem-Based Service Learning. *Sustainability-Basel* 15(8):6452. <https://doi.org/10.3390/su15086452>
- Kumdokrub T., Carson S. & You F. 2023: Cornell university campus metabolism and circular economy using a living laboratory approach to study major resource and material flows. *Journal of Cleaner Production* 421:138469. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138469>
- Landscape and Urban Planning 115:209-221. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.018>
- Li P., Chien H., Chang P., Chou S. & Tai C.H. 2022: Water Management Strategies on Campus: An integrated approach. *Journal of Sustainability Perspectives* 2(1):73-79. <https://doi.org/10.14710/jsp.2022.15469>
- Lukman R. & Glavič P. 2007: What are the key elements of a sustainable university? *Clean Technologies and Environmental Policy* 9:103-114. <https://doi.org/10.1007/s10098-006-0070-7>
- Luttik J. & Maters E. 2022: Best practices in greening transportation at Wageningen University & Research. *Journal of Sustainability Perspectives* 2(2):80-88 10. <https://doi.org/10.14710/jsp.2022.15474>
- Malthan-Hill P., Worsfold M., Nagy G.J., Filho W. & Mifsud M. 2019: Climate change education for universities: A conceptual framework from an international study. *Journal of Cleaner Production* d 226:1092-1101 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.053>
- Mejía-Manzano L.A., Vázquez-Villegas P., Smith A., Soeiro A., Kálmán A., Atabarut T. et al. 2023: An Exploratory Study Examining the Key Aspects and Actions for Universities to Achieve High Sustainability Rankings. *Sustainability-Basel* 15(5):4165. <https://doi.org/10.3390/su15054165>
- Menon S. & Suresh M. 2022: Modelling the enablers of sustainability in higher education institutions. *Journal of Modelling in Management* 17(2):405-439. <https://doi.org/10.1108/JM2-07-2019-0169>
- NPU 2022: Nature Positive Universities Alliance <https://www.naturepositiveuniversities.net/>
- Pachamuthu S., Sancheti S., Sethuraman N. & Thirumurugan V. 2021: Water Sustainability: Current and Future Challenges at SRM Institute of Science and Technology, Chennai, India. *Journal of Sustainability Perspectives* 1:239-246, <https://doi.org/10.14710/jsp.2021.12010>
- Pasquier Merino A.G. 2022: Sustainable food, consensus, and debates: a study on university campuses in Mexico City, International. *Journal of Sustainability in Higher Education* 23(8)337-353. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-03-2022-0096>
- People & Planet, UK 2015: Awards: People & Planet University League 2015. *Journal of Education for Sustainable Development* 9(2):236-237. <https://doi.org/10.1177/0973408215600602f>
- Pereira G.I. & da Silva P.P. 2017: Energy efficiency governance in the EU-28: analysis of institutional, human, financial, and political dimensions. *Energy Efficiency* 10:1279-1297. <https://doi.org/10.1007/s12053-017-9520-9>
- Rinaldi C., Cavicchi A. & Robinson R.N.S. 2022: University contributions to co-creating sustainable tourism destinations. *Journal of Sustainable Tourism* 2144-2166. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1797056>
- Saalah S., Rajin M., Yaser A.Z., Azmi N.A.S. & Mohammad A.F.F. 2020: Food Waste Composting at Faculty of Engineering, Universiti Malaysia Sabah. In: Yaser A. (eds.): *Green Engineering for Campus Sustainability*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7260-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7260-5_13)
- Salvia A.L., Filho W.L., Brandli L.L., & Griebeler J.S. 2019: Assessing research trends related to Sustainable Development Goals: Local and global issues. *Journal of Cleaner Production* 208:841-849. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.242>

- Silova I. 2009: Varieties of Educational Transformation: The Post-Socialist States of Central/Southeastern Europe and the Former Soviet Union. In: Cowen R. & Kazamias A.M. (eds.): International Handbook of Comparative Education. Springer International Handbooks of Education 22, Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6403-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6403-6_19)
- Souza Silva J.L., de Melo K.B., Santos K.V., Sakô E.Y., da Silva E.K., Moreira H.S. et al. 2022: Case study of photovoltaic power plants in a model of sustainable university in Brazil. *Renewable Energy* 196:247-260. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.103>
- SPHU 2022: The Sustainability Platform of Hungarian Universities was established, 2022 Hungary Pécs Online [https://zoldegyetem.pte.hu/en/news/sustainability\\_platform\\_hungarian\\_universities\\_was\\_established10](https://zoldegyetem.pte.hu/en/news/sustainability_platform_hungarian_universities_was_established10)
- Sustainable Development Goals 17 Goals to Transform our World. 2015: Food and Agriculture Organisation of the United Nation <https://www.fao.org/3/CA3121EN/ca3121en.pdf>
- THE Impact Rankings 2023: Impact Rankings Methodology 2023 <https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/impact-rankings-2023-methodology>
- UI GreenMetric 2023: UI GreenMetric Guidelines 2023 <https://greenmetric.ui.ac.id/publications/guidelines>
- UoS 2019: Institutional Sustainability Strategy. University of Sopron, Hungary
- Urbański M. & ul Haque A. 2020: Are You Environmentally Conscious Enough to Differentiate between Greenwashed and Sustainable Items? A Global Consumers Perspective. *Sustainability* 12:1786. <https://doi.org/10.3390/su12051786>
- Urquiza Gomez F., Sáez-Navarrete C., Rencoret Lioi S. & Ishanoglu Marzuca V. 2015. Adaptable model for assessing sustainability in higher education. *Journal of Cleaner Production* 107:475-485. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.12.008>
- Velazquez L., Munguia N., Platt A. & Taddei J. 2006: Sustainable university: what can be the matter? *Journal of Cleaner Production* 14:810-819. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.12.008>
- Verbeek H., Urlings J. & Hamers J. 2023: Twenty-five years of aging research and innovation in the Living Lab. *Nat Aging* 3:1168–1169. <https://doi.org/10.1038/s43587-023-00482-2>
- Werkmeister C., Schoormann T. & Knackstedt R. 2021: Promoting Carpooling Through Nudges: The Case of the University Hildesheim. In: Ahlemann F., Schütte R. & Stieglitz S (eds.): *Innovation Through Information Systems*. WI. Lecture Notes in Information Systems and Organisation, 47 Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-86797-3\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-030-86797-3_43)
- Wu J. 2014: Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions.
- Žalėnienė I. & Pereira P. 2021: Higher Education For Sustainability: A Global Perspective. *Geography and Sustainability* 2:99–106. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.001>

*Érkezett: 2024. 03. 06.*

*Közlésre elfogadva: 2024. 05. 22.*

# ERDŐTELEPÍTÉSI POTENCIÁL BECSLÉSE TERMŐHELYI ADATBÁZISOK ALAPJÁN

Illés Gábor<sup>1</sup> és Schiberna Endre<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológiai és Erdőművelési Osztály

<sup>2</sup>Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, Ökonómiai Osztály

## Kivonat

A Kaán Károly országfásítási program keretében vizsgáltuk meg az erdőtelepítési potenciál változását hazánkban. A vizsgálatok során két klímaváltozási forgatókönyvet vettünk alapul, az RCP 4.5 és az RCP 8.5 kibocsátási előrejelzésekre alapozva. Azt határoztuk meg, hogy a gyenge minőségű szántók, a gyep-legelő, illetve a jó minőségű, de meredek szántók esetében körülbelül mekkora területek lehetnének erdősíthetők a jövőben és hogyan változik ez a lehetőség az időben. Tartósan erdősíthető területeknek azokat tekintettük, amelyek erdőtalajon találhatók, és/vagy a faállományok számára elérhető többlet vízellátással rendelkeznek, valamint a becsült fatermesztési potenciáljuk eléri legalább a IV. fatermési osztályt. Az eredmények azt mutatták, hogy jelenleg kb. 456 ezer ha erdősítésre alkalmas terület lehet a gyenge minőségű szántóterületek között, viszont ebből csak 123 ezer ha található erdőtalajokon. A gyep, ill. legelőterületekkel kiegészítve, hasonló feltételek mellett ez a szám 262 ezer ha-ra emelkedhet. A klímaváltozás hatására azonban – az egyes forgatókönyvek függvényében a vizsgált földhasználati kategóriákban – 30 évente minimum kb. 10%-kal csökken az erdősítésre alkalmas területek aránya. Ezen felül a természetvédelmi szempontok érvényesítése további területcsökkenéssel jár.

**Kulcsszavak:** erdőtelepítési lehetőség, klímaváltozás, fásítási program, térbeli elemzés

## ASSESSING AFFORESTATION POTENTIAL ON THE BASIS OF ECOLOGICAL DATASETS

### Abstract

Within the framework of the Károly Kaán national afforestation program, we examined the change in afforestation potential in our country. During the tests, we used two climate change scenarios, based on the RCP 4.5 and RCP 8.5 emission forecasts. We determined the approximate size of areas that could be afforested in the future in the case of low-quality arable land, grassland or pasture land, and good-quality but steep arable land. We also examined how this opportunity changes over time. Areas that can be afforested sustainably were considered to be those whose soil is forest soil and/or which have an additional water supply available for the stands, and whose estimated potential for timber production reaches at least the 4<sup>th</sup> yield class. The results showed that currently approx. 456,000 ha of land land may be suitable for afforestation may be among the low-quality arable land, but only 123,000 ha of this can be found on forest soils. Together with grassland and pasture areas, under similar conditions, this number can rise to 262,000 ha. However, as a result of climate change, depending on the climate change scenarios, the proportion of areas suitable for afforestation decreases by at least 10% every 30 years in the examined land use categories. In addition, the enforcement of nature conservation aspects results in a further area reduction.

**Keywords:** afforestation possibilities, climate change, afforestation programs, spatial analyses

Levelező szerző/Correspondence:

Illés Gábor, 9600 Sávár, Várkerület 30/A., [illes.gabor@uni-sopron.hu](mailto:illes.gabor@uni-sopron.hu)

## BEVEZETÉS

### Előzmények

Az Erdészeti Tudományos Intézet (ERTI) belül – más kutatóhelyekhez hasonlóan – az elmúlt évek egyre intenzívebben kutatott témájává vált az egyes faállományok fatermésének termőhelyfüggő, nagy területű modellezése. E törekvések fő célja a klímaváltozási előrejelzések hatásainak vizsgálata volt, amelyhez részletes adatokra, ezen adatok validálására és a termőhely fatermési hatásainak további vizsgálatára volt szükség.

Lokális szinten Fűhrer és munkatársai végeztek hasonló jellegű, de csak a klíma és a növekedési viszonyok összefüggésének tisztázására elemzéseket és adtak jövőre vonatkozó becsléseket (Fűhrer et al, 2011a, 2013). Megállapították, hogy a klímaszcenárióknak megfelelően az erdészeti klímaosztályok eltolódnak, az egyes klímaosztályok növekedési viszonyai az említett szcenáriókra vonatkozóan pedig romlani fognak, illetve, hogy az ariditási index (FAI) értéke a fatermőképességgel szorosan összefügg (Fűhrer et al, 2011b).

A klímaváltozás erdőkre gyakorolt várható hatásának becslését célzó további projektek közül a jelen tanulmány szempontjából következők számítottak mérföldkönek. Az Agrárklíma 1 projekt 2012–2014 között Zala vármegye területére hozta létre azt a döntéstámogató rendszert, amely a jövőbeli célállományok meghatározásához a várható klímaváltozást figyelembe véve, a várható fatermés előrejelzésével tett javaslatokat (Illés et al, 2014). A Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) 2015-ben történt fejlesztésének eredményeként egy országos szintű, kis felbontású döntéstámogató rendszer jött létre, amelynek agrár modulja erdészeti célú előrejelzéseket is tartalmaz (Illés és Fonyó, 2016). Valamint meg kell említeni az Agrárklíma 2 projektet 2014–2018 között, amely az Agrárklíma 1 eredményeinek országos kiterjesztésével országos szintű, nagyfelbontású döntéstámogató rendszer jött létre az erdészeti ágazat számára (Mátyás et al, 2022).

Intézetünk 2019 és 2020 között részt vett a Kaán Károly országfásítási program (Agrárminisztérium, 2022) döntéselőkészítő munkáiban, melynek kutatási háttérét és megalapozását mutatja be ez az írás.

### Kontextus

Az erdőgazdálkodás hazánkban egyszerre több kihívással néz szembe. Egyfelől megoldásokat kell keresni a klímaváltozás miatt bekövetkező, kedvezőtlen környezeti hatásokra (aszály, viharok, új károsítók, betegségek) (Hirka et al, 2024). Másfelől a romló környezeti feltételrendszer ellenére, a stratégiai céloknak megfelelően, növelni kell az erdővel borított terület nagyságát. Nem utolsósorban pedig meg kellene felelni az egyre nyomatósebb szakmai és társadalmi elvárásoknak, az erdőkép természetközeli állapotát lehetővé tevő erdőművelési megoldások rendszerszintű alkalmazásával. A célok egyidejű megvalósítása klímaváltozás nélkül is nagy kihívást jelent, fokozottan így van ez a jelen helyzetben, amikor a természetközeli állapothoz elengedhetetlen klimatikus feltételrendszer drasztikusan és gyorsan változik. Ezért időszerű volt, hogy a kérdéssel foglalkozunk és felmérjük az erdőtelepítési potenciál helyzetét Magyarországon.



## Célkitűzés

A munka célja az volt, hogy adatokra építve, tudományos módszerekkel becsüljük meg a reálisan rendelkezésre álló erdőtelepítési lehetőségek mértékét hazánkban. A becslést lehetőleg területi alapon tegyük, térinformatikai környezetben is értelmezhető eredményekkel szolgáljunk. Az eredmények lehetőleg kellő részletességgel bírjanak ahhoz, hogy a későbbiekben az ágazati tervezéseknél érdemi támogatást nyújtsanak a döntésekhez.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### Módszertani áttekintés

Az itt bemutatott módszer lényegében egy statisztikai eljárás, mely többváltozós becslési módszerekkel igyekszik leképezni az egyes fajok termőhelyfüggő fatermési mintázatát. A módszer alap gondolata, hogy próbáljuk a lehető legtöbb, elsődleges megfigyelésből, vagy származtatott adatokból felépíteni azt a sztochasztikus kapcsolatrendszert, ami a fajok termőhelyi adottságai és fatermőképességük között fennáll. Fajonként megismerve az abiotikus termőhelyi tényezőkre adott növekedési válaszreakciót, elvben lehetőségünk nyílik (bizonyos határokon belül) predikciókat adni a megváltozó klíma nyomán bekövetkező fatermés-változásra. Ennek révén pedig, a jövőben várható termőhelytípusainkat fajonként kategorizálni tudjuk a jelenlegi célállomány-táblázathoz hasonló módon jó, közepes, gyenge; avagy ajánlott, még megfelelő, vagy nem ajánlott kategóriákba, akár új erdőfelújítások, akár új erdőtelepítések vonatkozásában.

A módszer logikai felépítése az alábbi:

- összeállítunk egy részletes adatbázist, amely a lehető legjobban reprezentálja az ország múltbeli, jelenlegi és jövőbeni termőhelyi adottságait klimatikus, hidrológiai és talajtani tulajdonságok tekintetében
- összeállítunk egy másik adatbázist, amely a célfajok megfelelő szempontok alapján kiválasztott állományainak fatermőképességét, fatermési osztályát és térbeli helyzetét tartalmazza
- egymáshoz rendeljük a két adatállomány térben és időben összetartozó adatait
- felépítjük a termőhely-fatermés kapcsolatot leíró statisztikai modellt
- ellenőrizzük a modell eredményeit és elkészítjük a predikciókat.

Alapfeltételek, melyeket az alkalmazáskor elfogadunk és igyekszünk biztosítani, illetve amelyek alapvetően meghatározzák a becslések alkalmazhatóságát:

- a termőhelyi adatok a valóságot tükrözik
- a fatermési adatok a valóságot tükrözik
- a klimatikus adatok megfelelően leírják a bázisidőszak klímáját
- az alkalmazott klíma modellek becslései megfelelően leírják a jövő időszakok klímáját
- a modellépítéshez használt klimatikus és termőhelyi adatok értéktartományai részben átfednek a modellezett időszakok értéktartományaival.

A termőhelyi és fatermési adatok közötti kapcsolatokat R-program, random forest algoritmus segítségével modelleztük. Az eljárás során megállapítottuk a változók fontossági sorrendjét és az ideális mennyiségű, véletlen prediktort fafajonként. Az eredményeket egy 500 döntési fából álló erdő becsléseinek valószínűségi értékei jelentették, amely alapján minden térképi ponthoz hozzárendelhető lett az adott faj, adott fatermési osztályának előfordulási valószínűsége. Végeredményben egy adott térképi pontot választva megkapjuk, hogy az 500 modellfuttatás eredményeként az adott ponton hány százalék a valószínűsége az akác, a bükk, a cser, ..., a kocsánytalan tölgy fajok I., II., ..., VI. fatermési osztálya előfordulásának a klimatikus és termőhelyi adatok alapján. Minél homogénebb a modell becslése, annál magasabb lesz a fatermési osztály valószínűségi értéke és minél bizonytalanabb a becslés, annál inkább megoszlik a valószínűségi érték a fatermési osztályok között. A valószínűségek alapján határoztuk meg a bázisidőszaki és a modellezett időszakhoz tartozó fatermőképességi csoportok térképi elhelyezkedését és kiterjedését.

### Az erdőtelepítés szempontjából értékelt földhasználati kategóriák

Az erdőtelepítési potenciálra vonatkozó adatokat ötféle területtípusra vezettük le két MEPA felszínborítási kategórián belül. A felszínborítási kategóriák közül a szántókra, valamint a gyepekre, ill. vegyes természetközeli területekre (legelő, fás legelő) fókuszáltunk. A szántókon belül a vizsgálati területek lehatárolásához a szántóterületekre használt, agráralkalmassági kategória besorolást alkalmaztuk (Harsányi et al, 2013). Elsődlegesen minden olyan szántóterületet figyelembe vettünk, amelynek agráralkalmassági besorolása kisebb, vagy egyenlő volt, mint négy, azaz az átlag alatti területeket reprezentálják. Ezt tekinthetjük elsődleges erdőtelepítési célterületnek. Ez az egytől tízig terjedő alkalmassági skálán a leggyengébb négy kategóriát jelenti. Ez a négy kategória mintegy 851 ezer ha területet tett ki. A szántókon belül a másik lehetséges célterületként azokat a szántókat tekintettük, amelyek ugyan kedvező agrárbesorolást kaptak (5-10), de nem sík területen fekszenek (lejtés > 5 fok), vagyis egyrészt nehezebben művelhetők, másrészt nagyobb az eróziós kockázatuk. Ez a jó minőségű, de lejtős szántókat tartalmazó csoport 116,5 ezer ha-t tesz ki.

A gyepek, legelők, fás legelők kategóriában összesen 1 102 ezer ha terület helyezkedik el. Ebből a területből az 5 és 10 fok közötti lejtéssel bíró terület elsősorban domb- és hegyvidékeinken található mintegy 94,4 ezer ha-on. A 10 foknál is meredekebb gyepek, legelők területe ugyanitt 16,6 ezer ha-t tesz ki. Mindösszesen ez a két kategória mintegy 111 ezer ha. Ezeket még mint erdőtelepítési tartalék területeket számításba vettük az értékelésnél.

### Klimatikus adatok

A felhasznált adatok másik jelentős állományát tette ki a klimatikus adatok csoportja. Ennek alapját a Climate EU adatbázis adta (Marchi et al, 2020). Ennek az adatbázisnak a havi hőmérséklet és csapadékadatok az alapot az egyes jövőbeli időszakok erdészeti klímaosztály besorolásának (FAI) (Führer 2010, 2018; Führer et al., 2011c) az RCP forgatókönyvek szerint. Az ún. bioklimatikus paraméterek a fajok növekedési modelljeihez adták a bemenő adatokat, mely modellek alapján a célállomány javaslatok egy része készült. A kiegyensúlyozott eredmények érdekében az elemzésekhez minden esetben 15 egyedi klíma-modell ensemble becslésének adatait használtuk fel a klimatikus változók meghatározásához.

## A talajra és a hidrológiai adottságokra vonatkozó adatok

Az erdészeti gyakorlatnak megfelelő hidrológiai kategóriák meghatározását a domborzati és talajvízszint térképek feldolgozásával határoztuk meg. A talajvíz mélységétől függő hidrológiai kategóriákat a talajvízszint adatok alapján határoztuk le. A szivárgó vizek jelenlétét a lejtőlábi domborzat kategóriák esetén valószínűsítettük, míg a változó vízellátási kategóriát az alapkőzet, a talajtípus és a fizikai féleség figyelembevételével különítettük el. A többlet-vízhatást a klímaváltozástól független tényezőknek tekintettük, mivel annak klímaváltozás-függő változására vonatkozóan nem álltak rendelkezésre a vizsgálatban is felhasználható összefüggések.

A genetikai talajtípusra, a termőréteg vastagságára és fizikai féleségére vonatkozó információkat saját fejlesztésű térképek felhasználásával rendeltük az egyes területekhez (Pásztor et al, 2018). Ezekből a térképi adatállományokból fel tudtuk építeni a vizsgálati területek termőhelytípus változat adatállományait mind a jelenlegi, mind a jövőbeli időszakokra nézve. A szántóként művelt, és jelentősen degradált termőföldeket a felhasznált adatbázis külön talajtípus kategóriákban (pl: földes váztalaj) tartja nyilván, ezért ezek megjelennek a vizsgálatokban. A szántóföldi művelés szerkezetbolygató és humuszcsökkentő hatásaira azonban az elérhető adatbázisok nem tartalmaznak adatokat, illetve ezen változások fatermésre gyakorolt hatásait sem ismerjük, ezért ezeket a tényezőket nem állt módunkban figyelembe venni.

## Célállomány típusok meghatározása

Ahhoz, hogy a teljes értékelendő területre tudjunk válaszokat adni az erdősíthetőség kérdésében, ki kellett dolgozni a teljes termőhelyi spektrumra vonatkozó célállomány javaslatokat. Ismeretes a korábbi vizsgálatokból, hogy a klímaváltozás nyomán átalakulnak a termőhelyi kombinációk és a korábbi időszakokhoz képest jelentős lesz azon területek aránya, amelyekre vonatkozóan a régebbi célállomány típusok nem értelmezhetők. Szerencsés módon az egyik leginkább kockázatos termőhelyeket magába foglaló erdészeti tájcsoporthoz, az Alföld vonatkozásában az Agrárklíma 2 projekt eljutott addig, hogy a tájcsoporthoz tartozó, többlet vízhatástól független termőhelyekre egy szélesebb körű szakmai egyeztetésen is átesett javaslatcsomagot dolgozzon ki (Mátyás et al, 2017). Ennek eredményeként, elsősorban az erdőssztyeppből sztyepp klímakategóriába átkerülő területekre már rendelkezünk egy elfogadott javaslatcsomaggal. Azonban a többi erdészeti tájcsoporthoz esetében bőven akadnak még olyan termőhelyi kombinációk, amelyek esetében ki kellett dolgozni javaslatokat, illetve értékelni kellett az erdősíthetőség kérdését. Továbbá, az alföldi területeken is nyitva maradt a többlet vízhatás alatt álló területek kérdése. A feldolgozás során egy, a kérdéses termőhelyekre vonatkozó és általunk kidolgozott célállomány javaslat változatot használtunk, ami alkalmas lehet a későbbiekben további szakmai egyeztetésekre. A célállomány tervezetét úgy állítottuk össze, hogy egyrészt átemeltük a továbbra is fennmaradó termőhely típus változatok esetében már meglévő táblázatok javaslatait. Ezt a javaslatcsomagot kiegészítettük a korábban említett projekt eredményeiből létrehozott célállomány javaslatokkal. A továbbra is megválaszolatlan kombinációkra a statisztikai fatermési modellek eredményeit is figyelembe véve dolgoztunk ki szakértői becsléseken alapuló javaslatokat (Czímber et al, 2018; Illés, 2018). A becslés során vizsgáltuk, hogy egy-egy fafaj az éppen vizsgált termőhelytípus változathoz hasonló, és már értékelt termőhelytípus változatokon milyen értékelést kapott, ha volt ilyen támpont. Például:

ugyanaz a termőhelytípus egy klímaosztállyal feljebb, vagy egy termőréteg mélységi-, vagy hidrológiai kategóriával attól eltérő termőhelyen, illetve milyen eredményeket hoztak a statisztikai modellek. Bevezettünk pár egyszerű korlátozó szabályt is: sztyepp klímában vázталajok és szikes talajok esetében egyöntetűen az erdősítésre alkalmatlan kategóriát adtuk meg. Ezen felül sztyepp klímában az igen sekély és sekély termőrétegű termőhelyeket sem tekintettük erdőtelepítésre javasolható területeknek. A többlet vízhatással érintett sztyepp területeken a javasolt célállomány típusok csak a valóban meglévő vízhatás esetén jöhetnek szóba. A többlet vízhatás érvényesülésének változását a klíma modellek esetében nem tudtuk követni, mivel erre vonatkozóan nem készültek értékelések. Hasonlóan nem készültek még modellek a talajok változásáról sem, pedig az eddigi vizsgálatok szerint hosszabb távon a klíma változásával párhuzamosan a talajok változására is készülni kell (Bidló és Horváth, 2018). Vagyis, a klímán kívüli termőhelyi paramétereket jelen becslésekben stacionáriusnak feltételeztük, mely valószínűleg egy túlságosan optimista feltevés, amire a jövőben figyelemmel kell lenni és a javaslatokat ennek fényében súlyozni.

A célállomány típusokat szekvenciálisan határoztuk meg a klíma modellek időrendjében. Először feltöltöttük az egyes klíma modellek alapján előálló termőhelytípus kombinációkat a már meglévő javaslati táblák adataival. Ezután az időtávban első, enyhébb klíma modellre épülő termőhelytípus változat táblájában üresen maradt célállomány eseteket dolgoztuk fel. A feltöltött változatokkal frissítettük az időben távolabbi klíma modellek termőhelyi tábláit. Majd a rákövetkező klíma modell üresen maradt rekordjait dolgoztuk fel, amit újra feltöltöttünk a többi időszakra, és így tovább.

Miután minden egyedi termőhelytípus változat besorolása megtörtént, az egyes időszakok és forgatókönyvek által alkotott termőhelyi kombinációkhoz hozzárendeltük a megfelelő célállomány besorolásokat. Termőhelytípus változatonként váltakozva, a javasolható főfafajok száma 0 és 4 között változott. Ezekből a lehetőségekből az értékeléshez választott kétféle tematika szerint, egy az őshonos fajokat előtérbe helyező, illetve egy a fatermést preferáló súlyozással választott sorrendben választottunk egy-egy főfafajt együtt a hozzá rendelt, várható fatermési csoport (FTCS) megjelölésével.

A fatermési csoport a faállományok faanyagtermelési potenciálját jellemzi. Minél jobb ez a besorolás, annál több faanyag termelhető meg egységnyi területen, egységnyi idő alatt. A fatermési csoportok szerint három kategóriát különböztetünk meg: Az első (1) fatermési csoport a jó növekedésű, a második (2) fatermési csoport a közepes növekedésű erdőket, a harmadik (3) fatermési csoport pedig a gyenge növekedésű erdőket tartalmazza. A csoportosítás alapját az egységnyi idő alatt elért famagasság adja, amit a fajra jellemző referencia korra adunk meg. Mivel a faállományok magassági növekedésmenete ismert, ezért egy tetszőleges korban elért famagasságot vetíteni lehet a fatermési csoportokra.

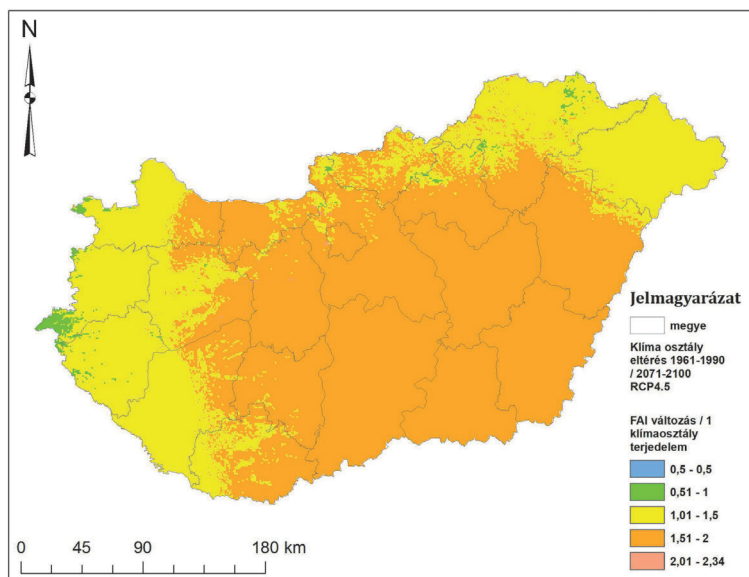
A további értékelésekhez e két szempont szerint kijelölt főfafaj és fatermési csoport opciókkal dolgoztunk. A további munkarészek kidolgozásához községhatáronként összesített terület adatokat adtunk meg termőhelytípusonként mindkét fajfajválasztási szemléletnek megfelelő főfafajjal. A 2011-2040 időszak esetében ezt tovább bontottuk mindkét kibocsátási forgatókönyv esetében agráralkalmassági kategóriák szerint is.

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

### A klímamodellek különbségei

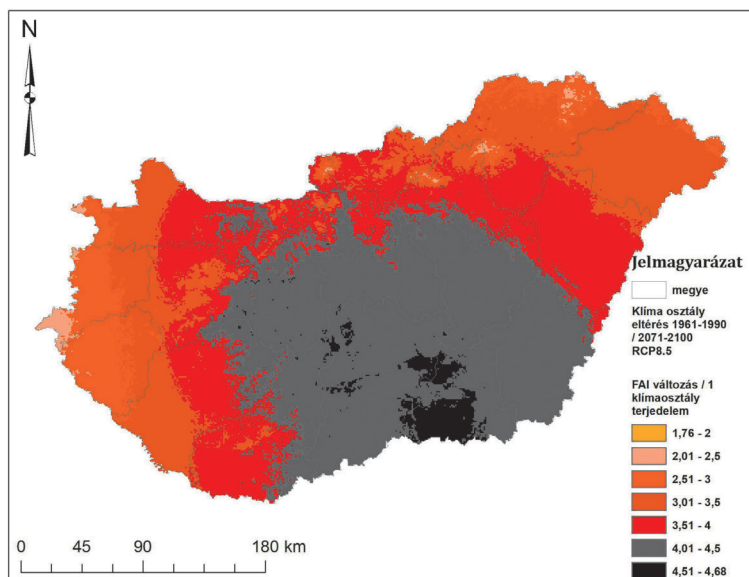
Az alábbi térképeken először bemutatjuk, hogy a klímamodell adatok alapján várhatóan hogyan változik majd az erdészeti klímaosztály besorolás jellemző értéke az országban a vizsgált időintervallumokra nézve az 1961–1990-es bázisidőszakhoz képest. A változás mértékét a makroklimatikus adatokból számolt FAI érték alapján mutatjuk be. A FAI egy erdészeti ariditási index, amely a termőterületek szárazságát erdészeti szempontból kifejező mutatószám, értéke a július–augusztus hónapok átlaghőmérsékletétől és a május–augusztus hónapok csapadékösszegétől függ (Führer, 2018). A térképeken a változás egysége megegyezik egy klímaosztály FAI értékeken vett terjedelmével (1,25 FAI egység). A térképek így azt mutatják, hogy milyen irányban és mértékben változik a klíma a jövőben. A negatív értékek a klíma humidabbá válását jelentik (a FAI érték csökken), míg a pozitív értékek a szárazodást jelzik (a FAI érték nő). Például, a térképen megjelenő 1,5-ös érték azt jelenti, hogy az adott területen másfél klímaosztálynyit változik a klíma a szárazodást jelző értékek felé. A térképek mindhárom időszakra és mindkét forgatókönyvre elkészültek, de terjedelmi korlátok miatt itt csak a század végére vonatkozó előrejelzéseket mutatjuk be forgatókönyvenként (1-2. ábra).

Az 1-2. ábrákon a század végére (2071-2100) várható klimatikus eltolódást mutatjuk be a két forgatókönyv alapján dolgozó klímamodellek előrejelzésében. Az optimista forgatókönyv szerint a század végére elsősorban Körmend térségében, a Soproni-hegységben és a Zemplénben maradhatnak számottevő területek, amelyek maximum 1 klímaosztálynyi eltolódást mutatnak majd klímájukban a bázisidőszakhoz képest. Ezt leszámítva, a Dunántúl nyugati felében és Északkelet-Magyarországon (pontosabban Szabolcsban és Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye Miskolctól északra eső területein) átlagosan 1-1,5 klímaosztálynyi eltolódás várható. A változások ilyen mértéke még mindenképpen relatíve könnyen kezelhető helyzetet teremthet az erdőgazdálkodás számára ezen a durván 7 megyényi területen belül. (Nagyjából ebbe a kategóriába eső megyék, megyerészek: Győr-Moson-Sopron vármegye nyugati kétharmada, Veszprém és Somogy vármegyék nyugati fele, Baranya vármegye nyugati egyharmada, Vas és Zala vármegye teljes területe, Pest vármegye és Komárom-Esztergom vármegye hegyvidéki területei, Nógrád és Heves vármegyék hegyvidéki területei, valamint a korábban már említett területek Szabolcs-Szatmár-Bereg és Borsod-Abaúj-Zemplén megyékből). Az ország többi területén – tehát az Alföld nagy részén és a Dunántúl keleti felén –, a változás el fogja érni a 1,5-2 klímakategóriányi eltolódást, ami jelentős kihívások elé állítja majd az erdőgazdálkodást. Főként azokon a területeken, ahol a jelenlegi legrosszabb klímaosztállynál két kategóriával kedvezőtlenebb feltételek állnak elő. Végül, bár túl sok realitás nincs ennek taglalásában, meg kell említeni, hogy a pesszimista forgatókönyv alapján a század végére nem várható olyan terület az országban, ahol a klímaeltolódás enyhébb lenne a két klímaosztállynál kisebb értéknél. Az ország durván 90%-án az eltolódás mértéke nagyobb lesz, min 2,5 klímaosztály. Fejér, Tolna, Bács-Kiskun, Jász-Nagykun-Szolnok, Csongrád-Csanád és Békés vármegyék teljes területén, valamint Pest vármegye Budapesttől délre eső területein a változás mértékét a modellek négy klímaosztálynál is nagyobbra becsülik. Bács-Kiskun vármegye egyes részein és Csongrád-Csanád vármegye körülbelül felén még ennél is nagyobb, 4,5 klímaosztályt meghaladó változásokat vetítenek előre a pesszimista forgatókönyv modelljei.



1. ábra: Az 1961–1990-es bázis időszakhoz viszonyított klímaosztály változás 2071–2100 között az RCP 4.5 forgatókönyv szerint

Figure 1: Climate class change by 2071–2100 compared to the base period of 1961–1990 according to the RCP 4.5 scenario



2. ábra: Az 1961–1990-es bázis időszakhoz viszonyított klímaosztály változás 2071–2100 között az RCP 8.5 forgatókönyv szerint

Figure 2: Climate class change by 2071–2100 compared to the base period of 1961–1990 according to the RCP 8.5 scenario



Összességében azt tudjuk leszűrni, hogy a 4.5-ös kibocsátási forgatókönyvnél nem rosszabb klímaváltozási pálya esetén reális esély lehet az észszerű erdőgazdálkodási tevékenység fenntartására, de ehhez is jelentős alkalmazkodási lépéseket kell tenni. A 8.5-ös forgatókönyv megvalósulása katasztrofális hatással lenne az erdőgazdálkodásra, és még azzal szemben is komoly kétségeket vet fel, hogy mekkora területen lehetne egyáltalán fával borított élőhelyeket fenntartani az országban.

Fontos kiemelni, hogy a jelenleg kidolgozott (elődolgozott) célállomány javaslatok a jelenlegi legrosszabb – erdőssztyepp – klímakategóriánál is csak eggyel gyengébb klimatikus körülményekre adnak becslést. Úgy gondoljuk, hogy ennél nagyobb léptékű változásokhoz jelen ismeretek alapján csak nagyon spekulatív célállomány javaslatok lennének rendelkezhetők. Mivel azonban az optimistább előrejelzések alapján is valószínűsíthető, hogy már e század közepére főként Bács-Kiskun, Fejér és Csongrád Csanád megyék, valamint kisebb mértékben Pest és Jász-Nagykun-Szolnok vármegyék területe is kívül fog esni a jelenleg felölelt klimatikus tartományon, ezért elengedhetetlen, hogy a jövőben alkalmazható fafajok és fajták kutatása folytatódjon. Annál is inkább, mert a pesszimista forgatókönyv esetén már középtávon is kifutunk a most megújuló célállomány javaslatok által lefedett klimatikus tartományból.

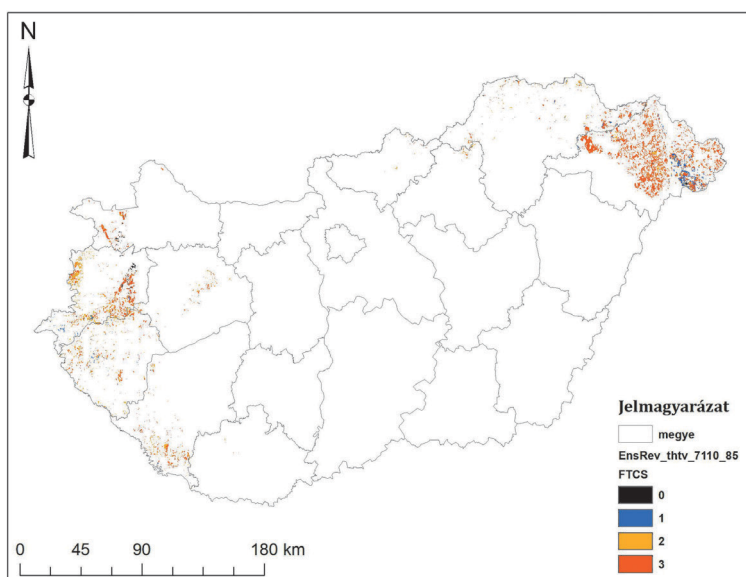
### A fatermési viszonyok értékelése

Az eredmények értékelésénél és megjelenítésénél, a módszertanban már említett, kétféle szemlélet alapján választott főfaj kombinációkat elemeztünk. Az egyik megközelítésben az őshonosságot előtérbe helyező fafajválasztásra törekedtünk: előnyben részesítettük az őshonos, és a hosszabb élettartamú fafajokat. A másik megközelítésnél a fatermesztést tettük elsődlegessé és ez esetben az ültetvényesen termesztendő fafajokat, vagy az igénytelenebb fafajokat részesítettük előnyben és nem volt elsődleges szempont az őshonosság. Jelen tanulmányban a természetközeli változathoz tartozó eredményeket ismertetjük. Térképi formában csak a 2071–2100 időszakot mutatjuk be a két forgatókönyv szerint, de táblázatos formában a terület összesítéseket mindegyik időszakra bemutatjuk.

### Az alacsony agráralkalmasságú szántók fatermése

Az eredmények azt mutatták, hogy bármelyik klímaváltozási forgatókönyv valósul meg, az idő előrehaladtával az erdőgazdálkodás pozíciói – már ami az erdők növekedését és erre alapulva azok gazdasági teljesítőképességét illeti – romlani fognak. Azonban korántsem mindegy, hogy melyik forgatókönyv valósul meg (3. és 4. ábrák). Az RCP 4.5-ös forgatókönyv esetén a század végére, az alacsony alkalmasságú szántók erdősítésével 282 142 ha új erdőt lehetne létrehozni az első két fatermési csoportban. Ugyanakkor az RCP 8.5-ös szcenárió esetén csak 40 008 ha ilyen adottságú terület marad, és a két adat között több, mint kétszázezer hektár különbség van. Ha a 8.5-ös forgatókönyvvel az általános reménytelensége miatt nem számolunk, akkor is figyelembe kell venni az ágazati, hosszú távú tervezésnél, hogy az idő előrehaladtával romlanak a környezeti feltételek. A 2040-ig tartó időszakban még 456 ezer ha területi potenciál áll rendelkezésre erdőtelepítésre a jó növekedési kategóriákban. Ez a szám a 2041-2070 közti időszakban már csak 316 ezer ha lesz, és a század végére elérünk a 282 ezer ha-ig (1. táblázat). Ennek megfelelően azokat a területeket, amelyek várhatóan megőrzik a jó növekedési potenciáljukat hosszabb távon is, ennek az időtávnak





4. ábra: A fatermési csoportok területi becslése 2071–2100 között az RCP 8.5 forgatókönyv (EnsRev\_thtv\_7110\_85) szerint (FTCS: fatermési csoport; 0: erdősítésre alkalmatlan; 1: jó; 2: közepes; 3: gyenge)  
Figure 4: Spatial estimation of the extent of yield groups according to scenario RCP 8.5 (EnsRev\_thtv\_7110\_85) for the period 2071–2100 (FTCS: abbr. for yield group; 0: not suitable for afforestation; 1: good; 2: medium; 3: poor)

### A jó minőségű, de meredekebb szántók fatermése

Ezek a területek meglehetősen szórtan helyezkednek el az országban, ezért itt térképi ábrázolásuktól eltekintünk. Érdeemes azonban megjegyezni, hogy területileg leginkább Zala, Somogy, Tolna, Komárom-Esztergom, Nógrád és Borsod-Abaúj-Zemplén megyékben található az ilyen jellegű területek zöme. Az egyes fatermési csoportok területét scenárióként és időszakonként a 2. táblázatban összesítettük. Mivel a jó szántók és a gyepek esetében csak kiegészítő területbecslésről van szó, ezt a két kategóriát csak a jelenlegi és középtávú becslésekben összesítettük a területi kimutatásokban.

A 2. táblázat adatai alapján azt lehet leszűrni, hogy az első két fatermési csoportban az erdősíthető területek kiterjedése a jó, de meredekebb szántók esetében is csökkenő tendenciát fog mutatni a jövőben. Ugyanakkor a leggyengébb fatermési csoport területe, illetve az erdősítésre alkalmatlan területek nagysága folyamatos növekedést mutat. Az RCP 4.5-ös scenárió alapján ebben a kategóriában a jobb növekedésű erdők területe a kezdeti 74,5 ezer ha-ról 52 ezer ha-ra csökken. Míg az RCP 8.5 forgatókönyv alapján ugyanez az érték 86,2 ezer ha szemben a 37,5 ezer ha-ra. Tartósan tehát ebben a kategóriában valahol 40 és 50 ezer ha közötti területnagysággal lehet számolni, mint gazdasági erdő lehetséges élettere.

2. táblázat: Az egyes időszakok fatermési csoport területei forgatókönyvenként (jó minőségű, meredekebb szántók)  
Table 2: Area of yield groups by scenarios for the study periods (good quality, steep arable lands)

| Forgatókönyv                                 | RCP 4.5 (területek ha-ban) |               |           | RCP 8.5 (területek ha-ban) |               |           |
|----------------------------------------------|----------------------------|---------------|-----------|----------------------------|---------------|-----------|
| Fatermés csop.                               | 2011–2040                  | 2041–2070     | 2071–2100 | 2011–2040                  | 2041–2070     | 2071–2100 |
| FTCS-1                                       | 31 115                     | 21 293        | –         | 39 085                     | 12 626        | –         |
| FTCS-2                                       | 43 407                     | 30 695        | –         | 47 092                     | 24 844        | –         |
| <b>Erdőtelepítésre javasolt összesen</b>     | <b>74 522</b>              | <b>51 988</b> | <b>–</b>  | <b>86 177</b>              | <b>37 470</b> | <b>–</b>  |
| FTCS-3                                       | 33 922                     | 50 796        | –         | 24 197                     | 62 355        | –         |
| Alkalmatlan                                  | 8 103                      | 13 763        | –         | 6 173                      | 16 722        | –         |
| <b>Erdőtelepítésre nem javasolt összesen</b> | <b>42 025</b>              | <b>64 559</b> | <b>–</b>  | <b>30 370</b>              | <b>79 077</b> | <b>–</b>  |
| Összes terület                               | 116 547                    | 116 547       | –         | 116 547                    | 116 547       | –         |

### Az öt foknál meredekebb lejtésű gyep, legelő és fás legelőterületek fatermése

Ezek a területek is viszonylag sporadikusan helyezkednek el az országon belül, de súlypontjukat tekintve egyértelműen az Északi-középhegységben jellemzőbb ez a területi kategória. Érdemes kiemelni, hogy míg az 5 és 10 fok közötti lejtőkategóriában találunk legelőket a Dunántúlon is, addig a 10 fokos lejtésnél meredekebb legelőterületek javarészt Észak-Magyarországon fordulnak elő. A gyep, legelő, fás legelő kategóriában az 5 foknál meredekebb területek fatermési csoportjait a 3. táblázatban foglaltuk össze.

Az 5 foknál meredekebb gyep, legelő és fás legelő kategóriában az RCP 4.5 forgatókönyv alapján, rövidtávon mintegy 81 ezer ha, míg középtávon 63,5 ezer ha területi potenciál van az első két fatermési csoportba sorolható erdőterületek létrehozására. Ugyanezek a számok az RCP 8.5 forgatókönyv esetén 84,2 ezer ha, szemben a 48,1 ezer ha-al. Tehát a két forgatókönyv átlagában valahol 50 és 60 ezer ha körül lehet ezen területkategórián belül az erdősíthetőségi potenciál.

Fontos figyelemmel lenni arra, hogy a modelljeink alapján milyen jelentős mértékben növekszik az idő előrehaladtával az erdősítésre alkalmatlan területek aránya. Az RCP 4.5 alapú előremetszésekben a gyenge szántók esetén ez a szám a 3% és a 7% között változik. A jó, de meredek szántók esetében 7% és a 12%, míg a gyep-legelő kategóriában a 4% és a 6,5% között ingadozik. Az RCP 8.5 forgatókönyv esetén ugyanezekben a kategóriákban és ugyanebben a sorrendben: 2,5-8%; 5,3-14,3%; és 8-9,4%. Nem túlzás azt állítani, hogy 30 évente 5-10%-al zsugorodik az erdősítésre alkalmas területek nagysága.

További tényező, amit a döntéshozatalnál figyelembe kell venni, hogy ez csupán az erdészeti szempontú megközelítéssel meghatározott területi potenciál. Ezt jelentősen módosíthatja akár a szűkebben vagy tágabban értelmezett természetvédelem szempontrendszere, valamint leginkább a mezőgazdasági ágazat érdekei.

3. táblázat: Az egyes időszakok fatermési csoport területei forgatókönyvenként  
(gyep, legelő, fás legelő 5 fok lejtés felett)

Table 3: Area of yield groups by scenarios for the study periods  
(grasslands, pastures, and wooded pastures steeper than 5 degrees)

| Forgatókönyv                                 | RCP 4.5 (területek ha-ban) |               |           | RCP 8.5 (területek ha-ban) |               |           |
|----------------------------------------------|----------------------------|---------------|-----------|----------------------------|---------------|-----------|
| Fatermés csop.                               | 2011–2040                  | 2041–2070     | 2071–2100 | 2011–2040                  | 2041–2070     | 2071–2100 |
| FTCS-1                                       | 37 432                     | 22 806        | –         | 42 102                     | 9 811         | –         |
| FTCS-2                                       | 43 528                     | 40 689        | –         | 42 076                     | 38 327        | –         |
| <b>Erdőtelepítésre javasolt összesen</b>     | <b>80 960</b>              | <b>63 495</b> | <b>–</b>  | <b>84 178</b>              | <b>48 138</b> | <b>–</b>  |
| FTCS-3                                       | 25 418                     | 40 254        | –         | 18 102                     | 52 383        | –         |
| Alkalmatlan                                  | 4 629                      | 7 258         | –         | 8 727                      | 10 486        | –         |
| <b>Erdőtelepítésre nem javasolt összesen</b> | <b>30 047</b>              | <b>47 512</b> | <b>–</b>  | <b>26 829</b>              | <b>62 869</b> | <b>–</b>  |
| Összes terület                               | 111 007                    | 111 007       | –         | 111 007                    | 111 007       | -         |

## ÖSSZEFOGLALÁS – AZ ERDŐTELEPÍTÉSRE RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ POTENCIÁLIS TERÜLET MEGHATÁROZÁSA

Összefoglalóan azoknak a szántóterületeknek az erdőtelepítésre való alkalmasságát valószínűsítjük, amelyek a mezőgazdasági termelésre való alkalmasság szempontjából 1-4 kategóriába tartoznak (rosszabb adottságú szántók), a rajtuk létrehozható faállomány I–IV FTO szerinti növekedés elérésére képesek, (a „jó” és „közepes” fatermési csoportba tartoznak) és erdőtalajon állnak. Ezt a besorolást maximális területként kell értelmezni, az erdőtelepítések tényleges megvalósulására lényegi ráhatása van a földtulajdonosok szándékainak, a földhasználati politikai irányelveknek és az ezek érvényesítését szolgáló jogszabályi kényszereknek és ösztönzőknek.

A fentiek alapján lehatárolt területek jelentősebb arányban az Alföldön és a Dunántúlon helyezkednek el. A szántó művelési ág 1-4 mezőgazdasági művelési alkalmasság kategóriákban a teljes vizsgált terület összesen 851 521 ha. A 2011–2040 közötti időszakra előrevetített termőhelyi feltételek alapján (a 2040 utáni klímaváltozási hatásokkal nem számolva) 456 130 ha területen lehet fatermesztésre is alkalmas erdőt létrehozni. Azaz a termőhelyi osztályozás alapján javasolható faállomány növekedése az I–IV. FTO közé esik. Az V–VI. FTO kategóriákat csak különösen indokolt esetben érdemes létrehozni, és számolni kell azzal, hogy hosszú távú fenntartásuk még állandó termőhelyi feltételek esetén is további finanszírozást tesz majd szükségessé.

A talaj- és a klímadottságok alapján az erdők természetes előfordulási helyének tekintjük azokat a termőhelyeket, amelyek genetikai talajtípusa az erdőtalajok valamelyik csoportjába (közethatású erdőtalajok, barna erdőtalajok, mocsári és ártéri erdőtalajok) tartozik, és erdők számára alkalmas klímában találhatók. Erdő termőhelyként fogadjuk el azokat a termőhelyeket is, amelyek erdőssztyepp klímában kialakuló erdőtalajon vannak, tekintettel arra, hogy e klímában többletvízhatás szükséges az erdők fennmaradásához, és feltételezzük, hogy ezek a vízforrások jelenleg is elérhetők. A fa-

termesztésre alkalmas területeken belül 122 628 ha tekinthető az erdők természetes előfordulási helyének. (4. táblázat)

Ugyanezen kritériumok alapján értékeltük a mezőgazdasági hasznosításra való alkalmasság szerinti 5-ös vagy magasabb kategóriába tartozó, de 5°-nál nagyobb lejtésű szántókat, illetve a gyept, legelő hasznosítású földterületeket is. Ezekkel kiegészítve az alacsony agráralkalmasságú szántók területét, a fatermesztésre is alkalmas (I–IV. FTO-ba eső) faállományok létrehozására alkalmas területből 262 944 ha esik az erdők természetes előfordulási helyére. Ugyanakkor különösen a gyepterületek esetében fontos szem előtt tartani a természetvédelmi szempontokat. Az erdősítésre alkalmas területek rendelkezésre állását ezen szempontok jelentősen korlátozhatják, és a potenciális területet csökkenthetik.

4. táblázat: 1-4 mezőgazdasági alkalmassági kategóriába eső szántók területi bontása erdőtalajok és erdészeti klímakategóriák szerint, amelyeken létrehozható fatermesztésre is alkalmas állomány

Table 4: Territorial breakdown of fields falling into agricultural suitability categories 1-4 according to forest soils and forest climate categories, on which stands suitable for tree cultivation can be created

| Erdészeti<br>klímaosztályok | Talaj jellege  |                 | Összesen       |
|-----------------------------|----------------|-----------------|----------------|
|                             | erdőtalajok    | nem erdőtalajok |                |
| B                           | 482            | 2               | 484            |
| GYT                         | 28 707         | 3 854           | 32 561         |
| KTT-CS                      | 76 723         | 112 572         | 189 295        |
| ESZTY                       | 16 716         | 208 964         | 225 680        |
| SZTY                        | 222            | 7 888           | 8 110          |
| <b>Összesen</b>             | <b>122 850</b> | <b>333 280</b>  | <b>456 130</b> |

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A vizsgálat az Agrárminisztérium Kaán Károly Országfásítási programjának keretében valósult meg.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Agrárminisztérium Sajtóiroda, 2022. március 23.: Az országfásítási program újabb állomáshoz ért. <https://kormany.hu/hirek/az-orszagfasitasi-program-ujabb-allomashoz-ert>
- Bidló A. & Horváth A. 2018: Talajok szerepe a klímaváltozásban. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 57-71.
- Czímber K., Mátyás Cs., Bidló A. & Gálos B. 2018: A „Járó-tábla” (avagy az egyes termőhelytípusokon alkalmazható célállományok és azok növekedésének) közelítése gépi tanulási módszerrel. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 93-103.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. „KLÍMA-21” Füzetek 61: 98-107.
- Führer E., Marosi Gy., Jagodics A. & Juhász I. 2011a: A klímaváltozás egy lehetséges hatása az erdőgazdálkodásban. Erdészettudományi Közlemények 1(1): 17-28.
- Führer E., Horváth L., Jagodics A., Machon A. & Szabados I. 2011b: Az erdészeti klímaosztályok területének várható változása a Nagyalföldön. AEE Kutatói Nap, Sopron, konferencia kötet, 24-28.



- Führer E., Horváth L., Jagodics A., Machon A. & Szabados I. 2011c: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás* 115(3): 205–216.
- Führer E., Jagodics A., Juhász I., Marosi Gy. & Horvath L. 2013: Ecological and economical impacts of climate change on Hungarian forestry practice. *Időjárás* 117(2): 159–174.
- Führer E. 2018: A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. *Erdészettudományi Közlemények* 8(1): 27–42. <https://doi.org/10.17164/EK.2018.002>
- Harsányi E., Juhász Cs. & Nagy A. 2013: Földhasználat és tájgazdálkodás. Debreceni Egyetem. ISBN 978-963-473-687-5.
- Hirka A., Koltai A. & Gyóka Gy. 2024: Magyarországi erdőkárrok 2022-ben a kárjelentések alapján. *Növényvédelem* 60(1): 1–7.
- Illés G. & Fonyó T. 2016: A klímaváltozás fatermésre gyakorolt várható hatásának becslése az AGRATÉR projektben. *Erdészettudományi Közlemények* 6(1): 25–34. <https://doi.org/10.17164/EK.2016.003>
- 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.
- Illés G. 2018: A klímaváltozás nyomán bekövetkező fatermésváltozás becslése a kocsánytalan tölgy példáján *Erdészettudományi Közlemények* 8(1): 105–118.
- Pásztor L., Laborczi A., Bakacsi Zs. Szabó J. & Illés, G. 2018. Compilation of a national soil-type map for Hungary by sequential classification methods. *Geoderma* 311: 93–108.
- Marchi M., Castellanos-Acuna D., Hamann A., Wang T., Ray D. & Menzel A. 2020: ClimateEU, scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe. *Scientific Data* 7: 428. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00763-0>
- Mátyás Cs., Bidló A., Czímber K., Gálos B., Gribovszki Z., Führer E., Illés G. & Borovics A. 2022: A klímaváltozáshoz alkalmazkodás támogatása az erdészetben: Az Agrárklíma döntéstámogató rendszer. *Léggör* 67(1): 4–11.
- Mátyás Cs., Berki I., Bidló A., Csóka Gy., Czímber K., Illés G. & Führer E. 2017: A célállományrendszer aktualizálása a döntéstámogató rendszerben. *Erdészeti Lapok* 152(11): 346–352.

*Érkezett: 2022. 10. 05.*

*Közlésre elfogadva: 2024. 09. 29.*



## A mezővédő erdősávok újraértékelése

Napjainkban – elsősorban az agrár és erdészeti támogatások (új Közös Agrárpolitika=KAP) átalakulása miatt – a mezővédő erdősávok ismét „reflektorfénybe” kerültek. A lokális és globális klímaváltozás negatív hatásai – elsősorban az aszály – klímatudatos, fenntartható gazdálkodásra „kényszerítik” a földművelőket. A mezővédő erdősávok pozitív hatásai (szántóföldi növények termésnövekedése, szél elleni védelem, talajvédelem, biodiverzitás növelése, zaj- és porterhelés csökkentése, alternatív jövedelemforrások stb.), valamint az ezekről szóló évtizedes kutatási eredmények ismertek és elismertek. Mégis, különböző okok (területalapú támogatás, rendezetlen birtokviszonyok stb.) miatt, az utóbbi 50 évben a számuk folyamatosan csökkent, kis túlzással csak a Dunántúlon találkozhatunk ilyen erdősávokkal. A KAP 2023–2027 időszakában a mezővédő erdősávok létesítése és fenntartása kiemelt figyelmet kap, és a támogatási rendszer részeként finanszírozott nem termelő beruházások közé sorolják őket. A támogatás célja a mezőgazdasági területek fenntarthatóságának javítása és az ökológiai gazdálkodás elősegítése. A képen erdősávokkal körülvett táblákat látunk (háttérben a Keszthelyi-hegység). A fentebb említett előnyökön túl tájészttéikai jellegük is kiemelendő.

**Fotó: Ábri Tamás (SOE ERTI),  
Szöveg: Borovics Attila és Keserű Zsolt (SOE ERTI)**

## A HAZAI FAIPARHOZ KAPCSOLÓDÓ KLÍMAMITIGÁCIÓS INTÉZKEDÉSEK HATÁSBECSLÉSE

Király Éva<sup>1</sup>, Kis-Kovács Gábor<sup>2</sup>, Börcsök Zoltán<sup>3</sup>, Kocsis Zoltán<sup>3</sup>, Kottek Péter<sup>4</sup>,  
Mertl Tamás<sup>1</sup>, Németh Gábor<sup>3</sup>, Polgár András<sup>5</sup> és Borovics Attila<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet

<sup>2</sup>HungaroMet Zrt.

<sup>3</sup>Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

<sup>4</sup>Agrárminisztérium Erdőrendezési Főosztály

<sup>5</sup>Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar

### Kivonat

A fatermékek (HWP) jelentős mennyiségű szén-tárolnak, a hosszú élettartamú termékek és a fa épületszerkezeti elemek a széntárolás egyik leghatékonyabb módját valósítják meg. A faipari termékek élettartamának meghosszabbítása, valamint a megfelelő hulladékkezelés, újrahasznosítás és újrafelhasználás jelentősen hozzájárulhatnak a klímacélok eléréséhez. Tanulmányunkban 10 különböző forgatókönyv alapján 2050-ig vetítettük előre a hazai fatermékek széntárolását, illetve széndioxid és metán kibocsátásait annak érdekében, hogy megtaláljuk a legnagyobb klímavédelmi hatással bíró faipari intézkedések kombinációját. Az előrejelzéshez az országspecifikus HWP-RIAL modellt használtuk, mely alkalmas a fatermékek széntárolásának prognosztizálására, valamint az életciklus végéhez és a hulladékkezeléshez kapcsolódó kibocsátások előrejelzésére is. A vizsgálatunk leglényegesebb következtetése az, hogy további intézkedések nélkül a magyarországi fatermékek 2047-re széndioxid nyelőlőből kibocsátóvá válnak. A szénmegkötés folyamatos fenntartása érdekében elengedhetetlen további klímavédelmi intézkedések bevezetése, beleértve a kaszkád termékértékláncokat és a körkörös biogazdálkodási megközelítést. A leghatékonyabb egyedi intézkedések közé tartozik a termékek életidejének növelése, az újrahasznosítási arány növelése és az iparifa mennyiségének növelése az ipari választékarány növelésével, vagy a kitermelés fokozásával. Ezen intézkedések kombinációjával a 2022-2050 közötti időszakban éves átlagban maximum 1,5 millió t CO<sub>2</sub> egyenérték klímamitigációs potenciál érhető el.

A cikk a Király et al. 2024 (Climate change mitigation potentials of wood industry related measures in Hungary) eredeti közlés részben módosított fordítása.

**Kulcsszavak:** CO<sub>2</sub>, HWP, klímamitigáció, szénkészlet változás, életidő, égetéssel történő ártalmatlanítás, hulladéklerakás

## MITIGATING CLIMATE CHANGE THROUGH WOOD INDUSTRY MEASURES IN HUNGARY

### Abstract

Harvested wood products (HWP) hold a significant amount of carbon, with long-lasting products and wooden buildings being some of the most effective methods for carbon storage. Extending the lifespan of wood products, along with proper waste management, recycling, and reuse, can further help meet climate goals. In our study, we projected the carbon storage, carbon dioxide, and methane emissions of the Hungarian HWP pool up to 2050 under 10 different scenarios to identify the combination of wood industry measures with the greatest impact on climate change mitigation. We utilized the country-specific HWP-RIAL model to forecast emissions related to the end-of-life and waste management of wood products. Our main finding is that without additional measures, the Hungarian HWP pool would turn from a carbon sink to a source of emissions by 2047. To ensure the Hungarian HWP pool remains a carbon sink, it is crucial to implement further climate mitigation strategies, including cascading product value chains and circular bioeconomy approaches. The most effective individual measures include increasing product half-life, boosting the recycling rate, and enhancing industrial wood production through increased assortments and harvesting. By combining these measures, an average annual climate change mitigation potential of up to 1.5 Mt CO<sub>2</sub> equivalents could be achieved during the 2022–2050 period.

This article is based on the original publication by Király et al. 2024 (Climate change mitigation potentials of wood industry related measures in Hungary).

**Keywords:** CO<sub>2</sub>, HWP, climate change mitigation, carbon storage, half-life extension, incineration, solid waste disposal

## BEVEZETÉS

Az erdészeti- és faipari szektor, másnéven fagazdaság négy módon járulhat hozzá a klímaváltozás mérsékléséhez: a szén erdei ökoszisztémában történő megkötése és tárolása útján, a hosszú élettartamú faipari termékek széntárolása által, széndioxid-intenzív termékek anyagának helyettesítése révén, valamint a fosszilis tüzelőanyagok bioenergiával történő helyettesítése útján (Borovics 2022, Verkerk et al. 2022). A fa energiatakarékos, alacsony széndioxid-kibocsátású építőanyag, amely megfelelő felhasználása esetén jelentősen hozzájárulhat az európai klímapolitikai célok eléréséhez (Sikemma et al. 2023). Az erdővédelmi intézkedések, mint például a biodiverzitás megőrzése vagy a csökkentett kitermelés az erdei ökoszisztémákban történő széntárolásra összpontosítanak, és korlátozott fakitermelést igényelnek, míg a faipari termékekben történő széntárolásra vagy a helyettesítési hatásokra összpontosító intézkedések negatív következményekkel járhatnak az erdei ökoszisztémákban megvalósuló széntárolásra nézve (Johnston & Radeloff 2019, Churkina et al. 2020, Verkerk et al. 2022). Ezt az ellentmondást az erdő funkcióinak szétválasztásával lehet feloldani (Kottek et al. 2023a). Az alacsony természetességi szintű erdők szénpumpaként funkcionálhatnak, amelyek szerepe nem a széntárolás, hanem a szénmegkötés és a faipari termékekben hosszú távon tárolt szén mennyiségének növelése, ezzel nyersanyagot biztosítva egy innovatív és klímabarát erdőipar számára (Kottek et al. 2023a).

Az éghajlatváltozás következményeként egyre kiterjedtebb és súlyosabb erdőkárokra számíthatunk (Verkerk et al. 2022). A fafajok eloszlásának modellezése azt mutatja, hogy az elkövetkező évtizedekben szinte minden fő európai fafaj elterjedési területe visszaszorulhat, különösen Kelet- és Dél-Európában (Verkerk et al. 2022). A hazai vonatkozásokat nézve az optimistább forgatókönyv

szerint is a hazai tölgyfajok klimatikus igényeinek megfelelő területek nagysága az ezredfordulós értékekhez képest az egyötödére eshet vissza a század végére, míg a bükk (*Fagus sylvatica*) számára klimatikus szempontból alkalmas területek nagysága a tizedére csökkenhet (Illés & Móricz 2022a,b). Ez alátámasztja a faipari innováció fontosságát, mivel a jövőben elkerülhetetlennek tűnik a szárazságtűrő fafajok faanyagának kiterjedtebb ipari célú felhasználása.

Sokan kétségbe vonják a keményfa nyersanyag potenciálját és a puhafa helyettesítésére való alkalmasságát (Auer et al. 2020). Ugyanakkor az utóbbi időben újra feléledt az érdeklődés a hőkezelési eljárások iránt a jó minőségű faanyag csökkenő rendelkezésre állása és a fenntartható építőanyagok iránti növekvő kereslet miatt (Boonstra 2008, Esteves & Pereira 2009). Számos tanulmány elemzi a szárazságtűrő fafajok technológiai tulajdonságainak javítási lehetőségeit és módszereit, és felmerül az igény további információk gyűjtésére az alacsonyabb ipari kihasználtságú és gyengébb tartósságú faanyag típusok jellemzőiről és teljesítményéről (Esteves & Pereira 2009, Todaro 2012). Ígéretes eredmények születtek a csertölgy (*Quercus cerris*) faanyag tulajdonságainak hidrotermikus kezeléssel történő javításával és új ipari alkalmazási lehetőségeinek megteremtésével kapcsolatban (Todaro et al. 2012, 2013, Cetera et al. 2016). Az innovatív faipari termékek mellett a technológiai fejlődés javíthatja a faipari feldolgozás hatékonyságát, minimalizálhatja a hulladékkeletkezést (Li et al. 2022), és támogathatja az újrahasznosítást is (Wilson 2010, Király et al. 2023), ami szintén elősegítheti a fatermékek (HWP) szénegyenlegének kedvezőbb alakulását.

Magyarországon az ErdőLab projekt (Borovics 2022, Borovics 2024) keretében végzünk modellezési munkát a legmegfelelőbb fagazdasági klímamitigációs útvonalak azonosítása érdekében. A faipari termékmodellek értékes eszközök a fatermékek jövőbeli szénmérlegének becslésére, lehetővé téve a klímaváltozás mérsékléséhez történő hozzájárulásuk értékelését (Brunet-Navarro et al. 2018, 2021, Király et al. 2023). Az ErdőLab projekt keretében egy új faipari termékmodellt fejlesztettünk, a HWP-RIAL modellt (Harvested Wood Product Recycling, Incineration and Landfill model; Király et al. 2023). Ez az anyagáram-modell az IPCC módszertanán alapul (IPCC 2006, 2019), és magyarországi viszonyokra paraméterezett, tehát országspecifikusnak mondható. Tartalmaz egy saját fejlesztésű újrahasznosítási és hulladékút-választó modult is. Ezáltal képes előrejelezni a használatban lévő faipari termékekben, illetve a hulladéklerakókon felhalmozódott faipari termékekben tárolt szén mennyiségét, valamint a használatból kikerülő és égetéssel vagy hulladéklerakással ártalmatlanított termékekből származó széndioxid ( $\text{CO}_2$ ) és metán ( $\text{CH}_4$ ) kibocsátásokat is (Király et al. 2023).

Tanulmányunkban a HWP-RIAL modellt használtuk a faipari ágazathoz kapcsolódó klímamitigációs intézkedések országos szintű hatásainak becslésére. Vizsgálatunk célja az volt, hogy szimuláljuk a magyarországi HWP tárolóból származó nettó kibocsátásokat különböző forgatókönyvek szerint, és megtaláljuk az optimális intézkedéskombinációt a legkedvezőbb klímamitigációs hatás elérése érdekében.

## ADAT ÉS MÓDSZER

Tanulmányunkban különböző forgatókönyvek alapján előrejeleztük a hazai fatermékek széntárolását és a belőlük életciklusuk végén keletkező üvegházgáz-kibocsátások mértékét a 2022–2050 közötti időszakra vonatkozóan. Ehhez először megvizsgáltuk az egyes fatermék-csoportok hazai termelésére vonatkozó historikus adatokat. Ezt követően a fentiekben részletezett hozamvizsgálat eredményeiből kiindulva előrevetítettük a fakitermelés mértékét a kitermelés volumenének növekedését feltételező for-



gatókönyv, illetve változatlan tendenciákat feltételező (Business as Usual, BAU) forgatókönyv szerint. Ezután a választékszerkezet alakulását is előrejeleztük BAU megközelítésben, illetve az ipari választékok arányának növekedését feltételezve. Így összesen két fakitermelési és két választékszerkezetre vonatkozó forgatókönyvet vizsgáltunk, melyek alapján a fatermékek termelési volumenét előrejeleztük.

A fatermékek széntárolásának számszerűsítésére, és a belőlük származó élettartam végi emissziók előrejelzésére az ErdőLab projekt (Borovics 2022) keretében kidolgozott HWP-RIAL modellt (Király et al. 2023) használtuk. A modell segítségével vizsgáltuk a fatermékek előállításához, felhasználásához és élettartam végi kezeléséhez kapcsolódó egyedi és kombinált mitigációs intézkedések hatásait a 2022-2050 közötti időszakban. Ezzel az volt a célunk, hogy számszerűen meghatározzuk az egyes intézkedések és intézkedéscsoportok hatását a fatermékek széntárolására, valamint üvegházgáz kibocsátásai és elnyeléseik egyenlegére.

A modellezés során tíz különböző forgatókönyvet dolgoztunk ki. A scenáriókat úgy állítottuk be, hogy vizsgálni tudjuk a BAU, és a megnövelt fakitermelés hatásait. Emellett vizsgáltuk a választékszerkezet változatlanul hagyásának, valamint az ipari választékarány növelésének következményeit is. Fentiek mellett vizsgáltuk a körkörös biogazdasághoz kapcsolódó mitigációs intézkedések hatásait, azaz a termékek életidejének megnöveléséhez, illetve az újrahasznosítás növeléséhez kapcsolódó hatásokat, valamint a hulladéklerakás mértékének csökkentéséhez, és a metánvisszanyerés növeléséhez kapcsolódó hatásokat. Létrehoztunk olyan kombinált scenáriókat is, melyekkel az intézkedések együttes hatásait értékeltük.

A felhasznált adatokat, az előrejelzéseket, a kibocsátások becslésének módszertanát és a modell paraméterezését az alábbi alfejezetekben ismertetjük részletesen.

## Historikus fatermék termelési adatok

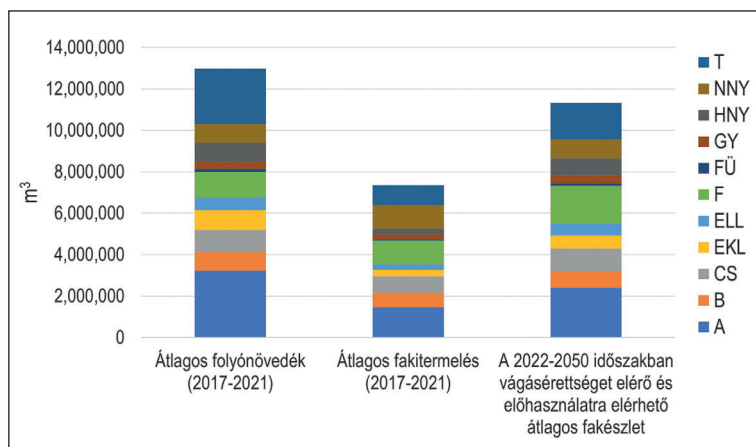
Elemzésünkben az egyes fatermék-csoportok hazai termelésére vonatkozóan a hazai Üvegházgáz Leltárjelentésben (ÜHG leltár; NIR 2023) is felhasznált input adatokat használtuk. Ezeket az adatokat Király és munkatársai (2022) részletesen bemutatják és elemzik. Az adatok az 1964-2021 közötti időszakot fedik le. Az adatok forrása a KSH adatgyűjtése, az Országos Statisztikai Adatgyűjtési Program, valamint a KSH által kiadott statisztikai évkönyvek, illetve Halász Aladár (1960, 1966, 1994) munkái. Tanulmányunkban az import faanyagból készülő termékeket nem zártuk ki a vizsgálatból, noha azok széntárolását az ÜHG leltár módszertana szerint hazánk nem számolhatja el. Azért döntöttünk az importból származó fatermékek bevonása mellett, mert így kaphatunk teljeskörű képet a hazai fatermékek teljes széntárolásáról, illetve az importált fatermékek megfelelő hulladékkezelése is jelentős klímamitigációs hatással bírhat.

## A fakitermelés előrejelzése különböző forgatókönyvek szerint

A scenáriók paraméterezéséhez két különböző fakitermelési előrejelzést használtunk (1. ábra). Az elsőben azt feltételeztük, hogy a kitermelt fa mennyisége megegyezik a 2017–2021 közötti évek átlagos fakitermelésével, és a fafajösszetétel is azonos az ebben az időszakban tapasztalható átlagértékekkel. A második esetben a Borovics és munkatársai (2023) által kidolgozott vágásérettségi korokon alapuló hozamelőrejelzés eredményeit használtuk a 2022-2050 közötti időszakban kitermelhető faanyag lehetséges maximális mennyiségére vonatkozóan. Vizsgálatunkban a 2022–2050 idő-



szakra előrejelzett évente kitermelhető faanyag egy évre vonatkozó átlagát használtuk a fatermékek termeléséhez kapcsolódó scenáriók paraméterezéséhez.



1. ábra: A 2017–2021 közötti átlagos folyónövedék és fakitermelés (NFK 2023) és a 2022–2050 időszakra prognosztizált évente átlagosan kitermelésre elérhetővé váló élőfakészlet mennyisége

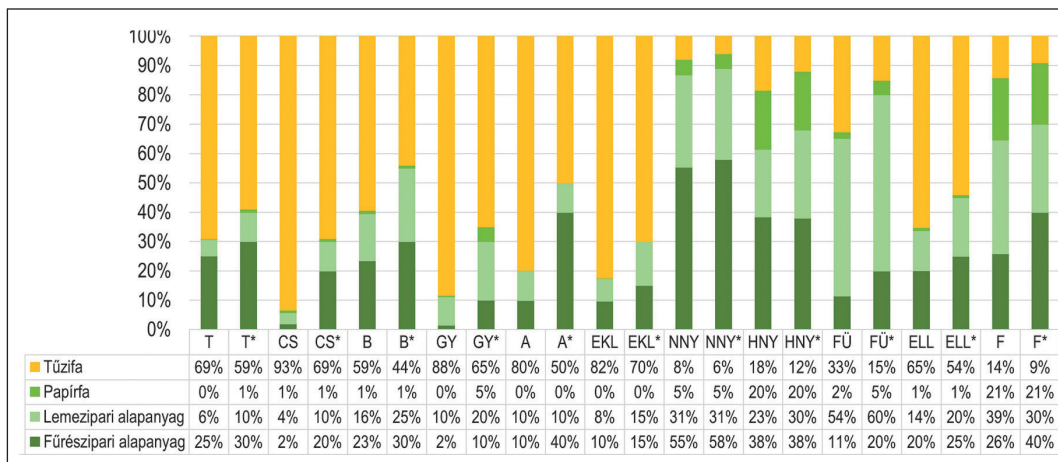
Figure 1: Average 2017–2021 annual increment and harvest and the average timber annually becoming available for harvest in the 2022–2050 period

Az 1. ábra szerint a várható maximális fakitermelés is lényegesen alacsonyabb, mint az elmúlt öt év átlagos éves folyónövedéke. Ezt figyelembe véve, valamint tekintve azt, hogy a felhasznált hozamvizsgálat az erdőtervekben előírt tervezői vágásérettségi korokat vette alapul, megállapíthatjuk, hogy a megnövelt fahasználattal számoló forgatókönyv sem ütközik tartamossági akadályokba.

Elemzésünkben nem vizsgáltuk a klímaváltozás lehetséges hatásait a folyónövedékre és a fafajösszetételre. Ennek egyik indoka az, hogy ezek a hatások viszonylag nagy bizonytalansággal terheltek, másrészt az elemzés időablaka viszonylag rövid, ami szintén megengedi ezt az egyszerűsítést. A klímaváltozás kedvezőtlen hatásai ugyanakkor előidézhetnek erdőkárokat és tömeges mortalitást is, ami a fapiac számára váratlan és nagy mennyiségű többlet alapanyagot jelenthet. Ezen esetekre való felkészülésként is értelmezhető a megemelt fahasználattal jellemzett forgatókönyv, illetve a faipar intenzifikációjának felvetése.

### A választékszerkezet előrejelzése különböző forgatókönyvek szerint

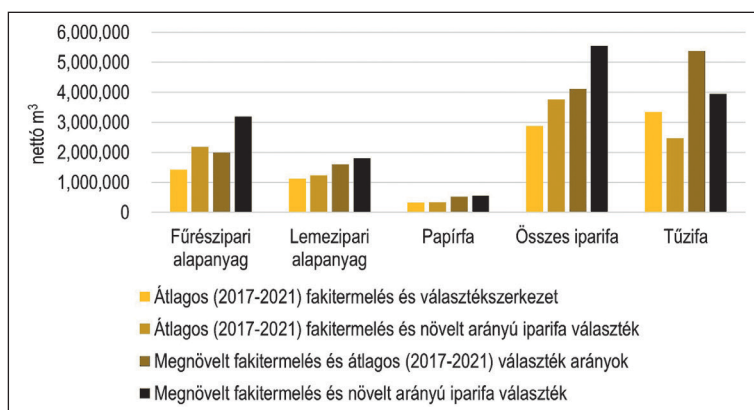
A scenáriók kialakítása során két különböző választékszerkezet-előrejelzést használtunk (2. ábra). A BAU forgatókönyv szerint az Országos Statisztikai Adatgyűjtési Program fajajcsoportonkénti választék-adatainak öt éves átlagát vettük alapul. Emellett feltételeztünk módosított választékszerkezettel kalkuláló scenáriókat is, amelyekben egyes jelenleg kisebb iparifa kihozattal jellemzett fajajcsoportok esetében az ipari választékok arányát megnöveltük. Ezzel modelleztük a faipari innováció hatásait, és a szárazságtűrő, kevésbé értékes ipari alapanyagként tartott fafajok nagyobb térnyerését az ipari felhasználásban. A módosított választékszerkezettel dolgozó scenáriók esetében a választékszerkezetre vonatkozóan Börcsök és munkatársai (2023) szakértői becslését használtuk.



2. ábra: Az iparifa választékok lehetséges növelésére vonatkozó szakértői becslés (Börcsök et al. 2023). A baloldali oszlopok mutatják fafajcsoportonként a 2017–2021 időszak átlagos választék arányait, a jobboldali (\*-gal jelölt) oszlopok pedig a választékszerkezet becsült lehetséges átalakítását

Figure 2: Average 2017–2021 assortment composition and estimated potential for increased industrial wood assortment by tree species groups

A fűrészrönk, a papírfá, a rostfa és tűzifa választékok nettó mennyiségét a két különböző fakitermelési előrejelzés alapján (növelt fakitermelés és az utóbbi öt év átlagos fakitermelési szintje) és a két lehetséges választékszerkezeti előrejelzés alapján (változatlan választékszerkezet, illetve növelt ipari választék) becsültük. Így összesen négy forgatókönyvet vizsgáltunk: 1) a korábbi években tapasztalt átlagos fakitermelés és választékszerkezet; 2) a korábbi években tapasztalt átlagos fakitermelési szint és megnövelt ipari választékarány; 3) a hozamvizsgálat eredményein alapuló megnövelt fakitermelés és a korábbi években tapasztalható átlagos választékarányok; 4) a hozamvizsgálat eredményein alapuló megnövelt fakitermelés és megnövelt ipari választékarány.



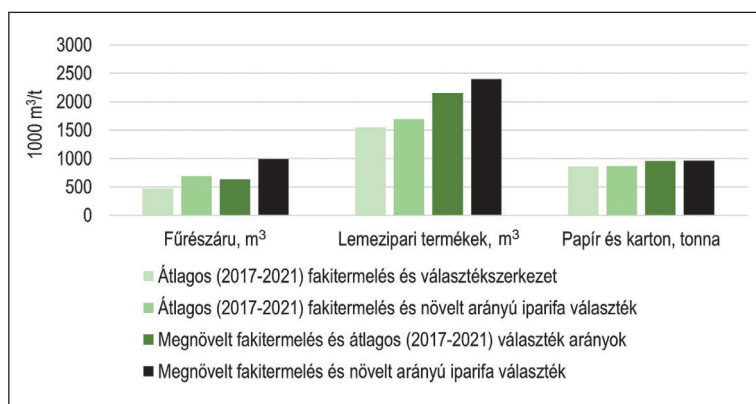
3. ábra: A faválasztékok 2017–2021 közötti átlagos mennyisége, valamint növelt iparifa választékkal, illetve megnövelt fakitermeléssel kalkuláló lehetséges forgatókönyvek alapján készített választék-előrejelzések

Figure 3: Average 2017–2021 and projected industrial wood assortments under four different approaches

A választékok számítását mind a négy esetben fajcsoportonként végeztük el, majd az eredményeket összegeztük és így kaptuk meg az egyes választékok teljes nettó mennyiségét (3. ábra).

### Fatermékek gyártásának előrejelzése

Az elérhető ipari választékok mennyiségéből kiindulva az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testülete (IPCC) által közreadott módszertan (IPCC 2013, 2019) szerint becsültük a fűrészipari és lemezipari termékek termelésének volumenét a prognosztizált időszakban. A 4. ábra szemlélteti a négy különböző forgatókönyv szerint előre jelzett termelési adatokat.



4. ábra: A fatermékek 2017–2021 közötti átlagos termelése, illetve megnövelt fakitermeléssel kalkuláló lehetséges forgatókönyvek alapján készített előrejelzések

Figure 4: Average 2017–2021 and projected HWP production under four different scenarios

### A mitigációs forgatókönyvek kiértékeléséhez használt modell: a HWP-RIAL modell

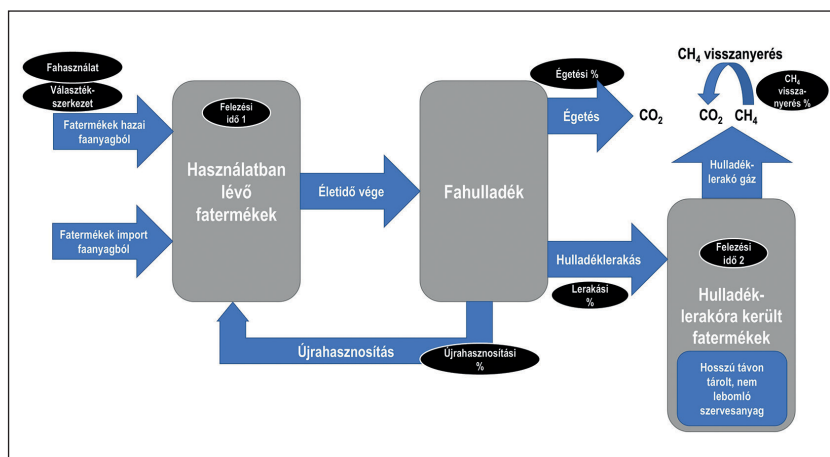
Annak érdekében, hogy a fatermékek széntároló kapacitása optimalizálható legyen nagyon fontos, hogy termelésük, felhasználásuk és hulladékkezelésük során is minél nagyobb mértékben érvényesítsük a klímavédelmi szempontokat. Ezért ismernünk kell a termékfejlesztés, újrahasznosítás és az egyes hulladékkezelési technológiák széntárolásra és kibocsátásokra gyakorolt hatásait. Az ErdőLab projekt (Borovics 2022) keretében e célok elérésére új modellt fejlesztettünk, amely képes előrejelezni a fatermékek széntárolásának és a belőlük származó kibocsátások alakulását. A kifejlesztett HWP-RIAL modell (Harvested Wood Product Recycling, Incineration And Landfill model) a Nemzeti Üvegházhatásúgáz Leltárjelentés (NIR 2023) készítésében is alkalmazott, az IPCC (2006, 2019) által kidolgozott módszertant használja az emissziók számításához. Az IPCC hulladéklerakókra vonatkozó modelljét kombinálja a fatermékek széntárolását és emisszióit leíró IPCC egyenletekkel, mindezt kiegészítve egy saját fejlesztésű újrahasznosítási és hulladékút-választó modullal.

A modell (5. ábra) a vizsgált termékeknek és körülményeknek megfelelően paramétereizhető, tetszőlegesen beállítható a termékek életideje, az újrahasznosítás százalékos értéke, a hulladéklerakóra és az energetikai hasznosításra vagy égetéssel történő ártalmatlanításra kerülő termékek mennyisége, valamint a hulladéklerakón történő metánvisszanyerés mértéke. Emellett beállítható az

újrahasznosítás útvonala is, azaz megadható, hogy a hulladékká váló faanyagból milyen típusú új terméket állítunk elő, pl. fűrészáruból forgácslapot.

A HWP-RIAL modell egy országspecifikus modell, hiszen a lerakott és újrahasznosított fahulladék aránya és a hulladéklerakón képződő metán visszanyerésének mértéke is hazai adatbázisok feldolgozásából és elemzéséből származik. A modell paraméterezéséhez felhasznált adatforrások az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (OKIR 2023), a Nemzeti Üvegházgáz Leltárjelentés (NIR 2023) és az Országos Hulladékgazdálkodási Terv (2021). A modell működését és módszertani leírását Király és munkatársai (2023) mutatják be.

A vizsgált scénáriókhöz kapcsolódó széntárolás és kibocsátások modellezésére a HWP-RIAL modellt használtuk.



5. ábra: A HWP-RIAL modell folyamatábrája

Figure 5: Flowchart of the HWP-RIAL model

A modellezés során a hazai fatermékek kezdeti szénkészletét az ÜHG leltár módszertana szerint számítottuk ki (IPCC 2019, Király et al. 2022, NIR 2023), azonban a modellezés során az import faanyagból gyártott termékeket is számításba vettük. A modellezés kezdő éve a használatban lévő fatermékek esetében 1964 volt, ekkorra történt a kezdeti szénkészlet IPCC módszertan szerinti meghatározása.

A modell újrahasznosítási modulja az életciklusuk végét elérő termékek egy részét a körkörös biogazdaság koncepciója szerint új termékek gyártásához nyersanyagként veszi figyelembe. Az újrahasznosítási arány a modellben beállítható. Jelen vizsgálatban a modellt úgy állítottuk be, hogy az újrahasznosított fahulladékot fűrészáru (20%), forgácslap (50%), MDF (20%) és egyéb lemez (10%) előállítására használjuk fel. A BAU scénárióban a termékek felezési idejét az IPCC (2019) által megadott értékekre állítottuk be. A modell hulladéklerakókra vonatkozó moduljának paraméterezése a Nemzeti Üvegházgáz Leltárjelentéssel konzisztens módon történt.

## A scenáriók paraméterezése

Ebben a tanulmányban 10 különböző scenáriót vizsgáltunk (1. táblázat és M.1. táblázat). A BAU forgatókönyv paraméterezéséhez az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (OKIR 2023), a Nemzeti Üvegházgáz Leltárjelentés (NIR 2023) és az Országos Hulladékgazdálkodási Terv (2021) adatait használtuk fel. A felezési idő és széntartalom értékeit az IPCC (2019) módszertan szerint állítottuk be.

A további scenáriókat az egyes faiparhoz kapcsolódó klímamitigációs intézkedések (termék életidő növelése, újrahasznosítás növelése, ipari választékok arányának növelése, hulladéklerakás csökkentése, metánvisszanyerés növelése) kibocsátást csökkentő hatásainak vizsgálatára hoztuk létre. A növelt ipari választékarány beállításához Börcsök és munkatársai (2023) szakértői becslését használtuk. Ebben az esetben kizárólag a választékarány változását modelleztük, míg az intézkedések együttesének hatásait a kombinált scenáriókban vizsgáltuk. A megnövelt fakitermeléssel jellemzett scenárióban a Borovics és munkatársai (2023) által előrejelzett maximális fahasználati potenciálból és annak általuk előrejelzett fafajösszetételéből indultunk ki.

Emellett létrehoztunk kombinált scenáriókat is, melyekkel az intézkedések együttes hatásait értékeltük, illetve vizsgáltuk a megnövelt fakitermeléssel elérhető, a fatermékekben megvalósuló többlet széntárolás mértékét is.

Az újrahasznosítás százalékos értékeit a BAU scenárióban az OKIR adatai, valamint az Országos Hulladékgazdálkodási Terv adatai és előrejelzései alapján állítottuk be.

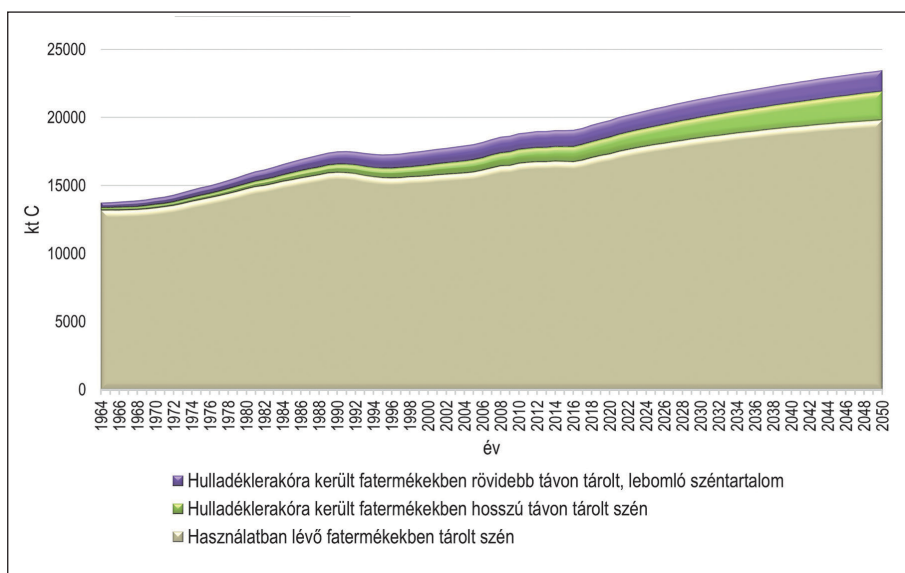
1. táblázat: A scenáriók ismertetése

Table 1: Description of the scenarios examined in this study

| Szenárió elnevezése                         | Szenárió rövid leírása                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BAU                                         | Business as Usual, azaz a jelenlegi általános gyakorlat szerint                                                                                              |
| Növelt életidő                              | Megnövelt életidő                                                                                                                                            |
| Növelt újrahasznosítás                      | Megnövelt újrahasznosítás                                                                                                                                    |
| Kedvezőbb hulladékkezelés                   | Csökkentett hulladéklerakás, megnövelt metánvisszanyerés                                                                                                     |
| Növelt ipari választékarány                 | Növelt iparifa választék, változatlan fahasználat                                                                                                            |
| Növelt fakitermelés                         | Megnövelt fahasználat                                                                                                                                        |
| Növelt fakitermelés és ipari választékarány | Megnövelt fahasználat, megnövelt iparifa választék                                                                                                           |
| Kombinált intézkedések 1                    | Megnövelt életidő, megnövelt újrahasznosítás, csökkentett hulladéklerakás, megnövelt metánvisszanyerés, változatlan fahasználat és választékszerkezet        |
| Kombinált intézkedések 2                    | Megnövelt életidő, megnövelt újrahasznosítás, csökkentett hulladéklerakás, megnövelt metánvisszanyerés, változatlan fahasználat, megnövelt iparifa választék |
| Kombinált intézkedések 3                    | Megnövelt életidő, megnövelt újrahasznosítás, csökkentett hulladéklerakás, megnövelt metánvisszanyerés, megnövelt fahasználat, megnövelt iparifa választék   |

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A 6. ábra mutatja be a BAU scenárió esetében a fatermékek szénkészletének alakulását a vizsgált időszakban. A 7. ábra a szénmegkötés és a kibocsátások évenkénti alakulását szemlélteti szintén a BAU scenárióban. Számításaink szerint 1964 és 2021 között a használatban lévő fatermékek szénkészlete 13 193 kilotonna (kt) szénről 17 489 kt szén értékre nőtt. A BAU forgatókönyv szerint a használatban lévő fatermékek szénkészlete 2050-re 19 804 kilotonnára nő. A hulladéklerakókban felhalmozódó hosszú távon tárolt, nem lebontható szén, illetve a lebomló szerves szén is fokozatosan növekszik a BAU forgatókönyv szerint, mivel a lerakott fa- és papírhulladék aránya nem változik a teljes előrejelzett időszakban. A 7. ábrán piros vonal szemlélteti a fatermék széntároló teljes nettó széndioxid kibocsátásait. A hazai fatermékek a jelenlegi trendek (Business as Usual) folytatása esetén 2047-re szénelnyelőkől kibocsátókká válnak, és 2050-re várhatóan 33 kt széndioxid egyenértéket bocsátanak ki.

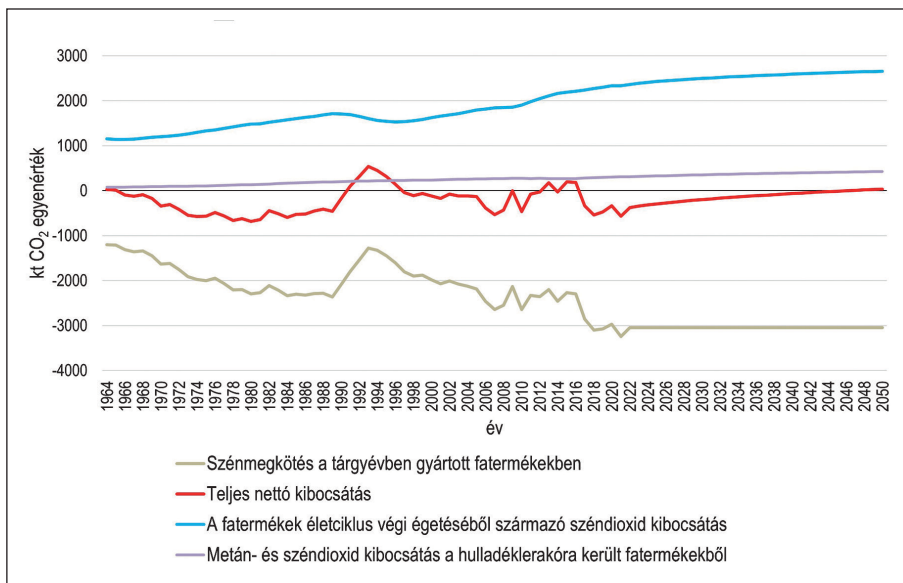


6. ábra: A fatermékekben tárolt szén historikus értékei, illetve a BAU scenárió szerinti előre jelzett mennyiségek  
Figure 6: Historic and projected carbon stock of HWP in use and HWP deposited in SWDSs under the BAU scenario

A 10 különböző scenárió prognosztizált kibocsátásait/megkötéseit a 8. ábra szemlélteti. Míg a BAU forgatókönyv szerint a fatermékek 2047-re kibocsátóvá válnak, az összes többi forgatókönyv szerint szénelnyelők maradnak a teljes vizsgált időszakban. A hulladékgazdálkodáshoz kapcsolódó intézkedéseket modellező forgatókönyv eredményezi a legkisebb többlet szénmegkötést, míg a megnövelt fakitermeléssel és iparifa választékokkal számoló forgatókönyvek eredményezik a legnagyobb többlet megkötéseket a fatermék széntárolóban.

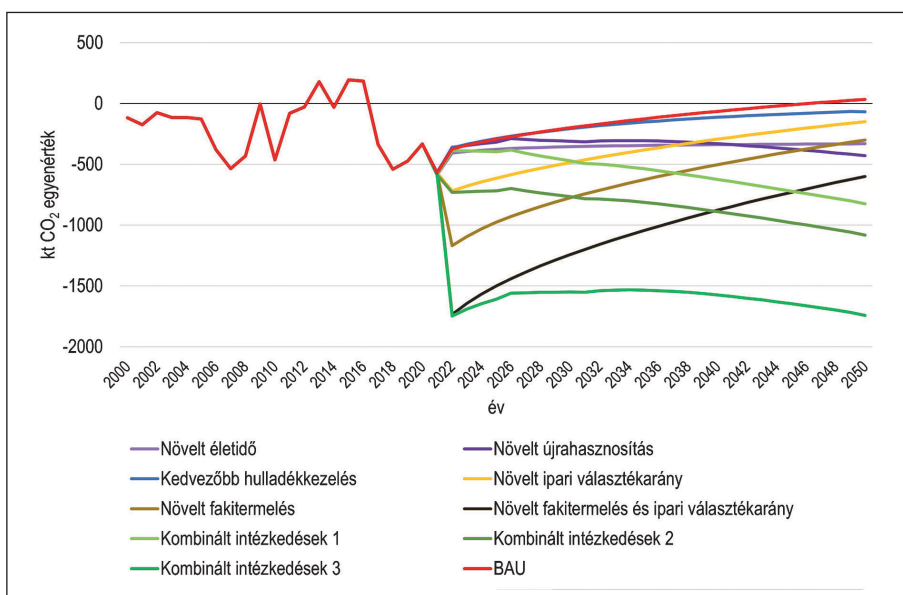
A felezési idő meghosszabbítása gyorsabban csökkenti a kibocsátást, míg az újrahasznosítás növelésének kibocsátáscsökkentő hatása hosszabb lefutású. A fatermékek termelésének növelése csak rövid távon növeli a szénmegkötést, amely hatás az idő múlásával csökken. Ezzel szemben az élettídi- és az újrahasznosítás növelése hosszabb távon fejti ki hatását, és a hozzá kapcsolódó kibocsátáscsökkenés mértéke az idő előrehaladtával fokozatosan növekszik.





7. ábra: A fatermékekben realizálódó historikus és a BAU Szenárió szerint előre jelzett szénmegkötés értékek, és a historikus és előre jelzett széndioxid- és metán kibocsátások értékei széndioxid egyenértékben kifejezve. (A negatív értékek széndioxid megkötéseket, míg a pozitív értékek kibocsátásokat jelölnek.)

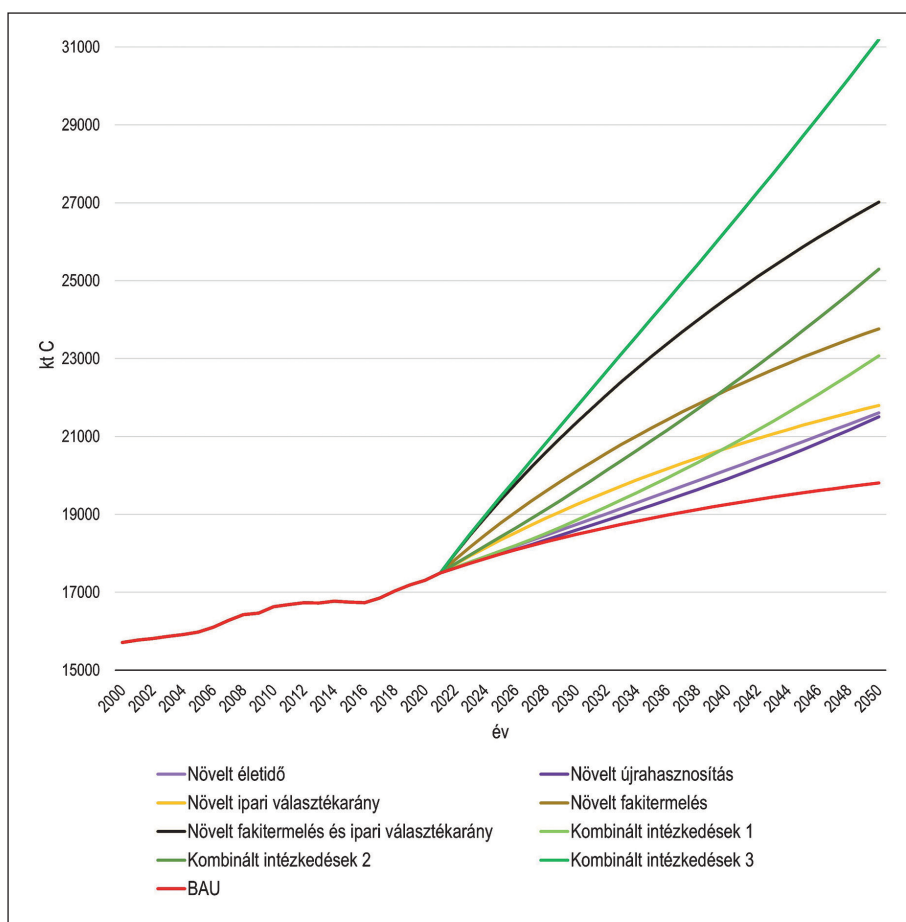
Figure 7: Historic and projected inflow and CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions (expressed in kt CO<sub>2</sub> eq units) under the BAU scenario



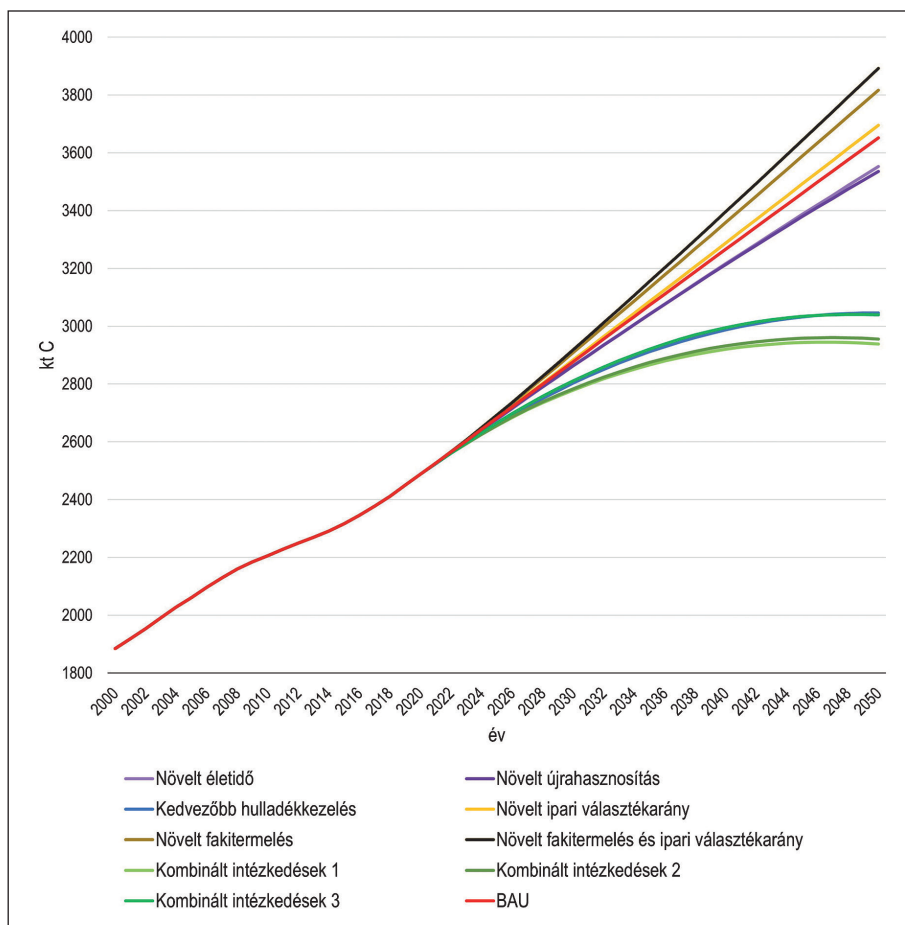
8. ábra: A vizsgált Szenáriók teljes nettó széndioxid egyenértékben kifejezett emissziói 2050-ig előrejelítve (beleértve a metán, valamint a széndioxid emissziókat is). (A negatív értékek széndioxid megkötéseket, míg a pozitív értékek kibocsátásokat jelölnek.)

Figure 8: Total net emissions (including CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions) under the examined scenarios up to 2050

A 9. ábra a használatban lévő fatermékek teljes szénkészletének alakulását mutatja a különböző forgatókönyvek szerint. A fatermékekben tárolt szén 2050-re előrejelzett mennyisége a BAU forgatókönyv szerint 19 804 kt, míg a kombinált intézkedésekkel (magnövelt ipari választék, magnövelt fakitermelési volumen, magnövelt élettídő és újrahasznosítás) számoló Szenárió szerint 31 194 kt szén. Ez azt jelenti, hogy nagy (akár 11 390 kt szén) különbség van a forgatókönyvek között a használatban lévő fatermékekben történő széntárolás mértékét illetően. A 10. ábra a hulladéklerakón felhalmozódó fatermékek szénkészletének alakulását szemlélteti. A lerakókon tárolt szénmennyiség legmagasabb 2050-re prognosztizált értéke 2 235 kt szén, mely változatlan hulladéklerakási arányok és magnövelt faipari termelés esetén következik be. A legkisebb prognosztizált szénkészlet a lerakókon 1 700 kt szén, mely a magnövelt újrahasznosítási arányok és a csökkentett hulladéklerakás eredménye.



9. ábra: A használatban lévő fatermékek teljes szénkészlete 2050-ig előrevetítve a vizsgált Szenáriók szerint  
Figure 9: Total carbon stock of the HWP's in use as projected under the examined scenarios up to 2050

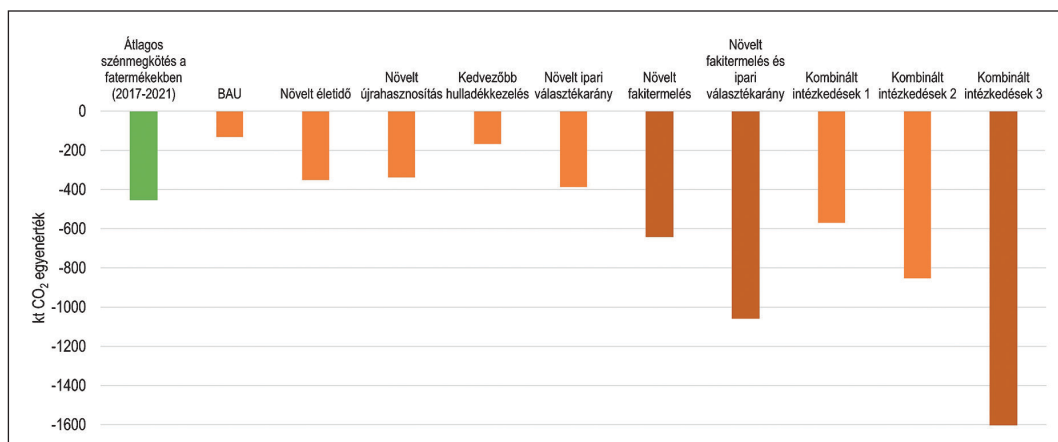


10. ábra: A hulladéklerakókon akumulálódó fatermékek szénkészlete a különböző vizsgált scenáriók szerint 2050-ig előreítelve

Figure 10: Total carbon stock accumulated in SWDSs as projected under the examined scenarios up to 2050

A 11. ábra mutatja a hazai fatermékek 2017–2021 közötti átlagos historikus szénmegkötéseit, illetve a vizsgált forgatókönyvek szerint a 2022–2050 időszakra prognosztizált átlagos éves szénmegkötések mértékét. A BAU forgatókönyv, azaz a változatlan fatermék gyártási és kezelési tendenciák fokozatosan csökkenő szénmegkötéseket eredményeznek, így a prognosztizált időszakra előre jelzett átlagos éves szénmegkötés jóval alatta marad az utóbbi öt évre jellemző historikus értékeknek. Az életidő és az újrahasznosítás növelése, illetve az ipari választékok arányának emelése önmagában nem képes annyira növelni a fatermékekben megvalósuló szénmegkötést, hogy az a teljes előrejelzett időszakra vonatkozó átlagban elérje a jelenleg tapasztalható szintet. Az egyes mitigációs intézkedések kombinációi azonban már többlet szénmegkötéseket eredményeznek a fatermék széntárolóban megvalósuló szénmegkötések jelenlegi szintjéhez képest. Ugyanez igaz a megnövelt fakitermelési volumennel számoló scenáriókra is, melyek szintén többlet szénmegkötéseket eredményeznek a jelenlegi szinthez képest.

Az összes vizsgált mitigációs intézkedés együttes alkalmazása és a fakitermelés növelése évenként összesen 1 604 kt CO<sub>2</sub> egyenértékű szénmegkötést eredményezhet a fatermékekben, ami a jelenlegi érték 3,5-szerese. A fakitermelés volumenének növelése nélkül, az élettídhő hosszabbításával, az újrahasznosítás növelésével és kedvezőbb hulladékkezelési gyakorlattal elérhető átlagos szénmegkötés a prognosztizált időszakban 835 kt CO<sub>2</sub> egyenérték, mely 1,9-szerese az elmúlt öt évben tapasztalt szénmegkötési szintnek.

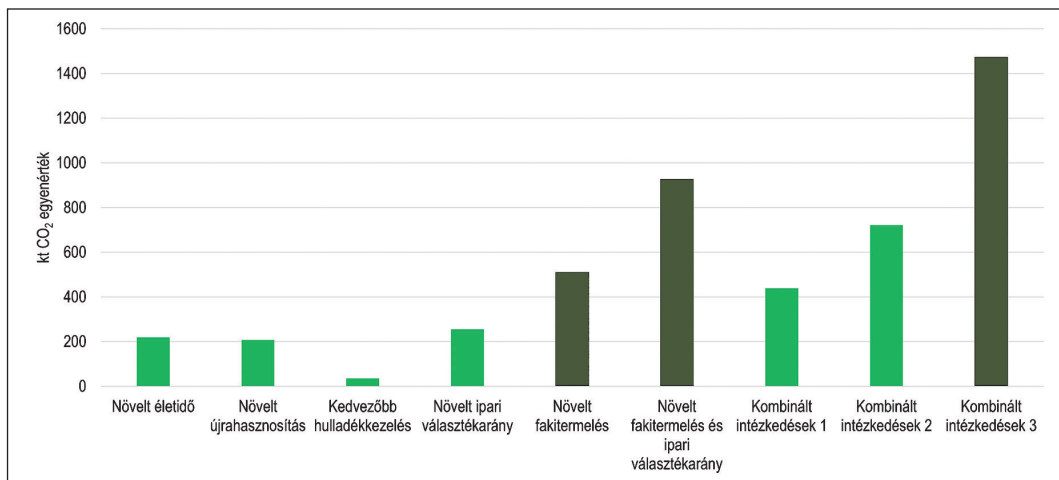


11. ábra: A hazai fatermékek 2017–2021 közötti átlagos nettó szénmegkötése és a különböző scenáriók szerinti prognosztizált szénmegkötések a 2022–2050 időszak vonatkozásában. (A zöld oszlop historikus adatokat jelöl, míg a narancssárga oszlopok előre jelzett adatokat jelölnek. A sötétebb narancs oszlopok jelölik a 2017–2021 időszak átlagához képest megnövelt fakitermeléssel jellemzett scenáriókat. A negatív értékek széndioxid megkötéseket jelölnek.)  
 Figure 11: Average historic net annual carbon sequestration in HWPs in the 2017–2021 period and the projected average annual net emissions for the period 2022–2050 under 10 different scenarios. (Green column indicates historic data whereas orange columns indicate projected data. Darker orange columns indicate the scenarios where the harvest is increased as compared to the average annual harvest of the 2017–2021 period.)

Végül meghatároztuk az egyes scenáriók 2022–2050 időszakra vonatkozó átlagos éves klíma-mitigációs potenciálját (12. ábra). A mitigációs potenciál az adott scenárióhoz tartozó átlagos szénmegkötési érték és a BAU scenárióhoz tartozó átlagos szénmegkötési érték különbségeként számítható.

Az élettídhő növelése, az újrahasznosítás fokozása és az ipari választékarány növelése hasonló mértékű klímavédelmi potenciállal bírnak. A fahulladék ártalmatlanításhoz kapcsolódó intézkedések rendelkeztek a legkisebb mitigációs potenciállal a vizsgált időszakban. Ez annak tudható be, hogy az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (OKIR 2023) adatai szerint jelenleg a lerakott fahulladék aránya 6%, míg a papírhulladéké 10%. Mivel a lerakott hulladék aránya alacsony, ennek az arálynak a további csökkentése már nem rendelkezik jelentős kibocsátáscsökkentő hatással. A metán energetikai célú hasznosítása, vagy fáklyázása azonban hasznos intézkedés a szilárd hulladékok ártalmatlanításából származó negatív környezeti hatások mérséklésére és a hulladéklerakó gázból származó energia hasznosítására.

Elemzésünk szerint a fakitermelés növelésével és a különféle mitigációs intézkedések kombinálásával lehet elérni a legnagyobb mitigációs hatást a fatermékekben (12. ábra).



12. ábra: A vizsgált scenáriók átlagos éves klímamitigációs potenciálja a BAU scenárióhoz képest. (Az értékek azt mutatják, hogy mennyi addicionális szénmegkötést lehet évente elérni az egyes intézkedések és intézkedéscsoportok segítségével a BAU szinthez képest. A sötétzöld oszlopok jelölik a 2017–2021 időszak átlagához képest megnövelt fakitermeléssel jellemzett scenáriókat.)

Figure 12: Average annual climate change mitigation potential of the examined scenarios as compared to the BAU scenario. (Darker green columns indicate the scenarios where the harvest is increased as compared to the average annual harvest of the 2017–2021 period.)

## ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban 10 különböző forgatókönyv szerint vetítettük előre a hazai fatermékek széntárolását és széndioxid-, valamint metán kibocsátásait 2050-ig. A vizsgálat célja a leginkább klímabarát gyakorlatok azonosítása és a legkedvezőbb faipari vonatkozású mitigációs intézkedések és intézkedés-kombinációk megtalálása volt.

Tanulmányunk egyik fő következtetése az, hogy további mitigációs intézkedések nélkül (BAU scenárió) a magyar fatermékek (beleértve a használatban lévő fatermékeket és a hulladéklerakón lévő fatermékeket is) 2047-re szénnyelőből széndioxid kibocsátóvá válnak. Így a folyamatos szénelnyelés fenntartásához, illetve a megkötések növeléséhez mindenképpen további klímamitigációs intézkedések szükségesek. E cél elérése érdekében a leghatékonyabb intézkedések a termékek életidejének növelése, az újrahasznosítás arányának növelése, illetve a nagyobb volumenű faipari termelés (mely az ipari választékok arányának növelése, illetve nagyobb volumenű fakitermelés útján valósítható meg).

A hazai faiparral kapcsolatos egyedi és kombinált klímamitigációs intézkedések hatásainak vizsgálata alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az optimális hatás az egyes intézkedések kombinációjával érhető el, mivel a vizsgált intézkedések egymás hatását erősítik. Az életidő meghosszabbítása és az újrahasznosítás a körkörös biogazdaság alapját képező intézkedések (EC 2020). Ezek az intézkedések hosszabb időn keresztül tartják a faanyagot használatban, így az abban megkötött szén hosszabb távú tárolását biztosítják (IPCC 2022, Verkerk et al. 2022). A faipari termelés volumenének növelése az újrahasznosítás növelésével, valamint az életidő növelésével kiegészítve hosszú távon nagy mennyiségű szenet tart a rendszerben megkötve.

Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a megnövelt fakitermeléssel számoló scenáriók esetében a teljes földhasználati és erdészeti (LULUCF) szektor szénegyenlegére vonatkozóan jelen vizsgálat nem nyújt információt. A megnövelt fakitermelés átmenetileg az erdei ökoszisztémákban megvalósuló széntárolás csökkenését eredményezi, mivel az ott megkötött szenet a hosszú élettartamú fatermékekben tárolja tovább. Fontos tehát az itt bemutatott vizsgálati eredmények komplex, a teljes LULUCF szektorra kiterjedő értékelése és értelmezése is.

Hangsúlyozni kell azonban azt, hogy még azokban a vizsgált forgatókönyvekben is teljesült a fenntartható erdőgazdálkodás kritériuma, ahol megnövelt fakitermeléssel számoltunk, hiszen Borovics és munkatársai (2023) csak azokat az erdőket tekintették fakitermelésre elérhetőnek a hozamvizsgálatban, amelyek elérték az előírt vágásérettségi korukat; illetve az átlagos fakitermelés mértéke az éves átlagos folyónövedék szintje alatt maradt.

Vizsgálatunk másik fontos eredménye az, hogy a 2022–2050 időszakban a fakitermelés volumenének növelése nélkül is a BAU scenárióhoz viszonyítva évi 721 kt CO<sub>2</sub> többlet megkötés érhető el a hazai faiparban a körkörös biogazdaság elvei szerint megvalósított mitigációs intézkedések kombinációjával. Ez az éves átlagos mitigációs potenciál összesen 20 922 kt CO<sub>2</sub> egyenérték többlet szénmegkötést jelent a 2022–2050 közötti időszakban a BAU forgatókönyvhöz viszonyítva. Tehát a magyar faiparban még a fakitermelés volumenének növelése nélkül is nagy klímamitigációs potenciál rejlik, így a jól megtervezett faiparral kapcsolatos intézkedések jelentős szerepet játszhatnak a 2050-es klímacélok elérésében.

A megnövelt fakitermeléssel számoló forgatókönyvek esetében éves szinten átlagosan maximum 1 473 kt CO<sub>2</sub> egyenérték mértékű mitigációs potenciál érhető el, ami 42 711 kt CO<sub>2</sub> egyenérték többlet megkötést jelent a 2022–2050 időszakban. Ez a mennyiség hétszerese a 2017–2021-es évek átlagos LULUCF szénmegkötésének. Az iparifa felhasználás növelésével tehát nagyon jelentős szénmegkötés és széntárolás érhető el a fatermékekben.

Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a faipar klímamitigációs potenciáljának kihasználásához jelentős faipari innovációk és az erdőgazdálkodás intenzifikációja szükségesek, annak érdekében, hogy a jelenleg alulhasznosított fafajok is magas minőségű termékeként kerülhessenek a piacra. Emellett a használatból kikerülő fatermékek visszagyűjtésének és újrahasznosításának megszervezése is fontos feladat, ami a körkörös biogazdaság megvalósítása szempontjából elkerülhetetlen. Fontos itt még megemlíteni a termékhelyettesítési hatásokat is, melyek az ipari- és energetikai szektorokban tesznek lehetővé jelentős kibocsátáscsökkentést (Leskinen et al. 2018). Hazánk esetében a termékhelyettesítés útján elkerült kibocsátások nagyságrendjét Király és munkatársai (2024) 4 500 kt CO<sub>2</sub> egyenérték nagyságrendjére becsülik, amely megegyezik a teljes erdő-alapú szektor éves szénmegkötésének nagyságrendjével.

Az iparifa választékok bővítése a kitermelt fában megkötött szén hosszú távú tárolását elősegítő intézkedés, ezért kedvezőbb a fa azonnali energetikai hasznosításánál (Verkerk et al. 2022, Li et al. 2022). Ugyanakkor a társadalom energiaigénye is fontos szempont, melyet figyelembe kell vennünk. A fa éghajlatbarát bioenergia-forrás (Verkerk et al. 2022), amely helyettesítheti a fosszilis tüzelőanyagokat. A biomassa az egyik legrugalmasabb megújuló energiaforrás, mivel könnyen tárolható, és villamosenergia, hőenergia, valamint üzemanyag előállítására is alkalmas (Sartori et al. 2006). Az iparifa választékok arányának növelésekor fontos az új tűzifaforrások felkutatása is. A megnövekedett fakitermeléssel számoló forgatókönyvek esetében a tűzifa prognosztizált mennyisége nem csökken a 2017–2021-es átlagos tűzifa termeléshez képest (3. ábra). Ezzel szemben a megnö-



velt iparifa választékokkal és változatlan fakitermelési volumennel számoló forgatókönyv esetében a tűzifa prognosztizált mennyisége a 2017–2021-es átlag alatt marad (3. ábra). Ebben az esetben jó megoldást jelenthetnek a hosszú- vagy rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények a kieső tűzifa biztosítására (Searchinger et al. 2008, Djomo et al. 2011). Emellett a kaszkád felhasználás koncepcióját követve (Budzinski et al. 2020) az élettartamuk végét elérő fatermékek energetikailag is hasznosíthatóak, amennyiben nem alkalmasak újrafelhasználásra, vagy nyersanyagként történő újrahasznosításra (Verkerk et al. 2022).

Végezetül fontos megjegyezni, hogy ebben a tanulmányban az életciklusuk végéhez érő fatermékek égetéséből származó kibocsátásokat és a hulladéklerakóra került fatermékekből származó kibocsátásokat együttesen vettük figyelembe. Emellett figyelembe vettük az import nyersanyagból gyártott fatermékek széntárolását és kibocsátásait is. Fentiek miatt a jelen tanulmányban számított összes nettó kibocsátás nem egy az egyben összevethető a Nemzeti Üvegházgáz Leltárjelentés LULUCF szektorában megadott kibocsátás értékekkel. Ennek egyik oka az, hogy az ÜHG leltárban az import nyersanyagból származó fatermékek széntárolása, és a belőlük származó kibocsátások sem elszámolandóak. Illetve a másik ok az, hogy az ÜHG leltárban az életciklusuk végét elérő fatermékek azonnali oxidációjával számolnak, mely egy egyszerűsítő feltételezés. Ebben a tanulmányban azért vettük figyelembe a hulladéklerakóról származó kibocsátásokat, hogy a szektorok közötti (LULUCF és hulladék szektor) hatásokat minél teljesebb mértékben fel tudjuk térképezni, illetve, hogy a fatermékek teljes életciklusát vizsgáljuk, beleértve a hulladékkezelésüket is.

## 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.

## MELLÉKLET

M.1. táblázat: A scenáriók paraméterezése  
Table M.1: Parametrisation of the examined scenarios

|                        |                                          | 2022                             | 2050 |
|------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|------|
| BAU                    | Fatermékek termelési volumene            | A 2017–2021 évi termelés átlaga. |      |
|                        | Felezési idő, fűrészáru                  | 35                               | 35   |
|                        | Felezési idő, lemezipari termékek        | 25                               | 25   |
|                        | Felezési idő, papír és karton            | 2                                | 2    |
|                        | Lerakott fahulladék %                    | 6                                | 6    |
|                        | Lerakott papírhulladék %                 | 10                               | 10   |
|                        | Újrahasznosított fűrészáru %             | 25                               | 25   |
|                        | Újrahasznosított lemezipari termékek %   | 25                               | 25   |
|                        | Újrahasznosított papír és karton %       | 71                               | 71   |
|                        | Metán visszanyerés a hulladéklerakókon % | 7                                | 7    |
| Növelt élettű          | Fatermékek termelési volumene            | A 2017–2021 évi termelés átlaga. |      |
|                        | Felezési idő, fűrészáru                  | 35                               | 50   |
|                        | Felezési idő, lemezipari termékek        | 25                               | 35   |
|                        | Felezési idő, papír és karton            | 2                                | 2    |
|                        | Lerakott fahulladék %                    | 6                                | 6    |
|                        | Lerakott papírhulladék %                 | 10                               | 10   |
|                        | Újrahasznosított fűrészáru %             | 25                               | 25   |
|                        | Újrahasznosított lemezipari termékek %   | 25                               | 25   |
|                        | Újrahasznosított papír és karton %       | 71                               | 71   |
|                        | Metán visszanyerés a hulladéklerakókon % | 7                                | 7    |
| Növelt újrahasznosítás | Fatermékek termelési volumene            | A 2017–2021 évi termelés átlaga. |      |
|                        | Felezési idő, fűrészáru                  | 35                               | 35   |
|                        | Felezési idő, lemezipari termékek        | 25                               | 25   |
|                        | Felezési idő, papír és karton            | 2                                | 2    |
|                        | Lerakott fahulladék %                    | 6                                | 6    |
|                        | Lerakott papírhulladék %                 | 10                               | 10   |
|                        | Újrahasznosított fűrészáru %             | 25                               | 60   |
|                        | Újrahasznosított lemezipari termékek %   | 25                               | 60   |
|                        | Újrahasznosított papír és karton %       | 71                               | 90   |
|                        | Metán visszanyerés a hulladéklerakókon % | 7                                | 7    |

M.1. táblázat folytatása / Table M.1: continued

|                             |                                          | 2022                                                                        | 2050 |
|-----------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| Kedvezőbb hulladékkezelés   | Fatermékek termelési volumene            | A 2017-2021 évi termelés átlaga.                                            |      |
|                             | Felezési idő, fűrészáru                  | 35                                                                          | 35   |
|                             | Felezési idő, lemezipari termékek        | 25                                                                          | 25   |
|                             | Felezési idő, papír és karton            | 2                                                                           | 2    |
|                             | Lerakott fahulladék %                    | 6                                                                           | 2    |
|                             | Lerakott papírhulladék %                 | 10                                                                          | 2    |
|                             | Újrahasznosított fűrészáru %             | 25                                                                          | 25   |
|                             | Újrahasznosított lemezipari termékek %   | 25                                                                          | 25   |
|                             | Újrahasznosított papír és karton %       | 71                                                                          | 71   |
|                             | Metán visszanyerés a hulladéklerakókon % | 7                                                                           | 60   |
| Növelt ipari választékarány | Fatermékek termelési volumene            | Megnövelt termelési volumen a megnövelt ipari választékarány következtében. |      |
|                             | Felezési idő, fűrészáru                  | 35                                                                          | 35   |
|                             | Felezési idő, lemezipari termékek        | 25                                                                          | 25   |
|                             | Felezési idő, papír és karton            | 2                                                                           | 2    |
|                             | Lerakott fahulladék %                    | 6                                                                           | 6    |
|                             | Lerakott papírhulladék %                 | 10                                                                          | 10   |
|                             | Újrahasznosított fűrészáru %             | 25                                                                          | 25   |
|                             | Újrahasznosított lemezipari termékek %   | 25                                                                          | 25   |
|                             | Újrahasznosított papír és karton %       | 71                                                                          | 71   |
|                             | Metán visszanyerés a hulladéklerakókon % | 7                                                                           | 7    |
| Növelt fakitermelés         | Fatermékek termelési volumene            | Megnövelt termelési volumen a megnövelt fakitermelés következtében.         |      |
|                             | Felezési idő, fűrészáru                  | 35                                                                          | 35   |
|                             | Felezési idő, lemezipari termékek        | 25                                                                          | 25   |
|                             | Felezési idő, papír és karton            | 2                                                                           | 2    |
|                             | Lerakott fahulladék %                    | 6                                                                           | 6    |
|                             | Lerakott papírhulladék %                 | 10                                                                          | 10   |
|                             | Újrahasznosított fűrészáru %             | 25                                                                          | 25   |
|                             | Újrahasznosított lemezipari termékek %   | 25                                                                          | 25   |
|                             | Újrahasznosított papír és karton %       | 71                                                                          | 71   |
|                             | Metán visszanyerés a hulladéklerakókon % | 7                                                                           | 7    |

M.1. táblázat folytatása / Table M.1: continued

|                                             |                                          | 2022                                                                                                    | 2050 |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Növelt fakitermelés és ipari választékarány | Fatermékek termelési volumene            | Megnövelt termelési volumen a megnövelt fakitermelés és a megnövelt ipari választékarány következtében. |      |
|                                             | Felezési idő, fűrészáru                  | 35                                                                                                      | 35   |
|                                             | Felezési idő, lemezipari termékek        | 25                                                                                                      | 25   |
|                                             | Felezési idő, papír és karton            | 2                                                                                                       | 2    |
|                                             | Lerakott fahulladék %                    | 6                                                                                                       | 6    |
|                                             | Lerakott papírhulladék %                 | 10                                                                                                      | 10   |
|                                             | Újrahasznosított fűrészáru %             | 25                                                                                                      | 25   |
|                                             | Újrahasznosított lemezipari termékek %   | 25                                                                                                      | 25   |
|                                             | Újrahasznosított papír és karton %       | 71                                                                                                      | 71   |
|                                             | Metán visszanyerés a hulladéklerakókon % | 7                                                                                                       | 7    |
| Kombinált intézkedések 1                    | Fatermékek termelési volumene            | A 2017-2021 évi termelés átlaga.                                                                        |      |
|                                             | Felezési idő, fűrészáru                  | 35                                                                                                      | 50   |
|                                             | Felezési idő, lemezipari termékek        | 25                                                                                                      | 35   |
|                                             | Felezési idő, papír és karton            | 2                                                                                                       | 2    |
|                                             | Lerakott fahulladék %                    | 6                                                                                                       | 2    |
|                                             | Lerakott papírhulladék %                 | 10                                                                                                      | 2    |
|                                             | Újrahasznosított fűrészáru %             | 25                                                                                                      | 60   |
|                                             | Újrahasznosított lemezipari termékek %   | 25                                                                                                      | 60   |
|                                             | Újrahasznosított papír és karton %       | 71                                                                                                      | 90   |
|                                             | Metán visszanyerés a hulladéklerakókon % | 7                                                                                                       | 60   |
| Kombinált intézkedések 2                    | Fatermékek termelési volumene            | Megnövelt termelési volumen a megnövelt ipari választékarány következtében.                             |      |
|                                             | Felezési idő, fűrészáru                  | 35                                                                                                      | 50   |
|                                             | Felezési idő, lemezipari termékek        | 25                                                                                                      | 35   |
|                                             | Felezési idő, papír és karton            | 2                                                                                                       | 2    |
|                                             | Lerakott fahulladék %                    | 6                                                                                                       | 2    |
|                                             | Lerakott papírhulladék %                 | 10                                                                                                      | 2    |
|                                             | Újrahasznosított fűrészáru %             | 25                                                                                                      | 60   |
|                                             | Újrahasznosított lemezipari termékek %   | 25                                                                                                      | 60   |
|                                             | Újrahasznosított papír és karton %       | 71                                                                                                      | 90   |
|                                             | Metán visszanyerés a hulladéklerakókon % | 7                                                                                                       | 60   |

M.1. táblázat folytatása / Table M.1: continued

|                          |                                          | 2022                                                                                                    | 2050 |
|--------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Kombinált intézkedések 3 | Fatermékek termelési volumene            | Megnövelt termelési volumen a megnövelt fakitermelés és a megnövelt ipari választékarány következtében. |      |
|                          | Felezési idő, fűrészáru                  | 35                                                                                                      | 50   |
|                          | Felezési idő, lemezipari termékek        | 25                                                                                                      | 35   |
|                          | Felezési idő, papír és karton            | 2                                                                                                       | 2    |
|                          | Lerakott fahulladék %                    | 6                                                                                                       | 2    |
|                          | Lerakott papírhulladék %                 | 10                                                                                                      | 2    |
|                          | Újrahasznosított fűrészáru %             | 25                                                                                                      | 60   |
|                          | Újrahasznosított lemezipari termékek %   | 25                                                                                                      | 60   |
|                          | Újrahasznosított papír és karton %       | 71                                                                                                      | 90   |
|                          | Metán visszanyerés a hulladéklerakókon % | 7                                                                                                       | 60   |

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Auer V. & Rauch P. 2020: Assessing hardwood flows from resource to production through Material Flow Analysis. 9th Hardwood Proceedings, Vol 9 - pt I: An Underutilized Resource: Hardwood Oriented Research. Nemeth, R.; Rademacher, P.; Hansmann, C.; Bak, M.; Bader, M. eds. 13-20.
- Boonstra M. 2008: A two-stage thermal modification of wood. Ph.D. Thesis in Applied Biological Sciences: Soil and Forest management. Henry Poincaré University-Nancy, France.
- Borovics A. 2022: ErdőLab: a Soproni Egyetem erdészeti és faipari projektje: Fókuszban az éghajlatváltozás mérséklése. Erdészeti Lapok 157: 114–115.
- Borovics A., Mertl T., Király É. & Kottek P. 2023: Estimation of the overmature wood stock and the projection of the maximum wood mobilization potential up to 2100 in Hungary. Forests 14(8): 1516. <https://doi.org/10.3390/f14081516>
- Börscsök Z., Németh G. & Kocsis Z. 2023: Expert judgement on the future assortment composition of harvested wood in Hungary. University of Sopron. Kézirat.
- Brunet-Navarro P., Jochheim H., Cardellini G., Richter K. & Muys B. 2021: Climate mitigation by energy and material substitution of wood products has an expiry date, Journal of Cleaner Production 303: 127026, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127026>
- Brunet-Navarro P., Jochheim H., Kroiber F. & Muys B. 2018: Effect of cascade use on the carbon balance of the German and European wood sectors. Journal of Cleaner Production 170: 137–146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.135>
- Budzinski M., Bezama A. & Thran D. 2020: Estimating the potentials for reducing the impacts on climate change by increasing the cascade use and extending the lifetime of wood products in Germany. Resources Conservation & Recycling 106(6): 100034. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100034>
- Cetera P., Todaro L., Lovaglio T., Moretti N. & Rita A. 2016: Steaming treatment decreases MOE and compression strength of Turkey oak wood. Wood Research 61(2): 255-264. ISSN: 13364561
- Churkina G., Organschi A., Reyer C.P.O., Ruff A., Vinke K., Liu Z., Reck B.K., Graedel T.E. & Schellnhuber H.J. 2020: Buildings as a global carbon sink. Nature Sustainability 3: 269-276, <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>
- CRF 2023: Common Reporting Format Tables of Hungary as submitted to the UNFCCC. <https://unfccc.int/documents/627846>



- Djomo S.N., El Kasmoui O. & Ceulemans R. 2011: Energy and greenhouse gas balance of bioenergy production from poplar and willow: a review. *Global Change Biology Bioenergy* 3: 181–197. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01073.x>
- EC 2020: European Commission. A New Circular Economic Plan for a Cleaner and More Competitive Europe, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions; COM (2020) 98 final; European Commission: Brussels.
- Esteves M.B. & Pereira H.M. 2009: Wood modification by heat treatment: a review. *Bioresource Technology* 4(1): 370–404. <https://doi.org/10.15376/biores.4.1.370-404>
- Fortin M., Ningre F., Robert N. & Mothe F. 2012: Quantifying the impact of forest management on the carbon balance of the forest-wood product chain: A case study applied to even-aged oak stands in France. *Forest Ecology and Management* 279: 176–188. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.05.031>
- Illés G. & Móricz N. 2022a: Climate envelope analyses suggests significant rearrangements in the distribution ranges of Central European tree species. *Annals of Forest Science* 79(1): 35 <https://doi.org/10.1186/s13595-022-01154-8>
- Illés G. & Móricz N. 2022b: Hazai fafajok klímaanalóg területeinek vizsgálata a klímaváltozás tükrében. *Erdészettudományi Közlemények* 12(2): 91–112. <https://doi.org/10.17164/EK.2022.06>
- IPCC 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme; Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Eds.; IGES: Kanagawa.
- IPCC 2019: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P., Federici, S., Eds.; IPCC: Geneva.
- IPCC 2022: Sixth Assessment Report, Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, the Working Group III Contribution. Chapter 7 Agriculture, Forestry, and Other Land Uses (AFOLU); IPCC: Geneva.
- Johnston C.M.T. & Radeloff V.C. 2019: Global mitigation potential of carbon stored in harvested wood products. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116: 14526–14531. <https://doi.org/10.1073/pnas.1904231116>
- Király É., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G., Polgár A. & Borovics A. 2022: Carbon Sequestration in Harvested Wood Products in Hungary an Estimation Based on the IPCC 2019 Refinement. *Forests* 13(11): 1809. <https://doi.org/10.3390/f13111809>
- Király É., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G., Polgár A. & Borovics A. 2024: Climate change mitigation through carbon storage and product substitution in the Hungarian wood industry. *Wood Research* 69(1): 72–86 [doi.org/10.37763/wr.1336-4561/69.1.7286](https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/69.1.7286)
- Király É., Forsell N., Schulte M., Kis-Kovács G., Börcsök Z., Kocsis Z., Kottek P., Mertl T., Németh G., Polgár A. & Borovics A. 2024: Climate change mitigation potentials of wood industry related measures in Hungary. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 29: 62. <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10161-1>
- Király É., Kis-Kovács G., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G., Polgár A. & Borovics A. 2023: Modelling Carbon Storage Dynamics of Wood Products with the HWP-RIAL Model—Projection of Particleboard End-of-Life Emissions under Different Climate Mitigation Measures. *Sustainability* 15(7):6322. <https://doi.org/10.3390/su15076322>
- Kottek P. 2017: National Forest Projection–2050; University of Sopron, Faculty of Forestry, VI. Faculty Scientific Conference Book of Abstracts; Bidló, A., Facskó, F., Eds.; Publishing Office of the University of Sopron: Sopron, Hungary, 59 p.
- Kottek P., Király É., Mertl T. & Borovics A. 2023a: Trends of Forest Harvesting Ages by Ownership and Function and the Effects of the Recent Changes of the Forest Law in Hungary. *Forests* 14(4):679. <https://doi.org/10.3390/f14040679>
- Kottek P., Király É., Mertl T. & Borovics A. 2023b: The re-parametrisation of the DAS model based on 2016–2021 data of the National Forestry Database: new results on cutting age distributions. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 19(2): 61–74.



- Krankina O.N., Harmon M.E., Schnekenburger F. & Sierra C.A. 2012: Carbon balance on federal forest lands of Western Oregon and Washington: The impact of the Northwest forest plan. *Forest Ecology and Management* 286: 171–182. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.08.028>
- Lakatos F. 1999: Bark beetles on pine in Hungary. In: Foster B., Knizek M. and Grodzki W. (Eds.): *Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe*: 248–249.
- Leskinen P., Cardellini G., González-García S., Hurmekoski E., Sathre R., Seppälä J. et al. 2018: Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. *From Science to Policy* 7. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs07>
- Li L., Wei X.Y., Zhao J. H., Hayes D., Daigneault A., Weiskittel A., Kizha A. R. & Neill S.R.O. 2022: Technological advancement expands carbon storage in harvested wood products in Maine, USA. *Biomass and Bioenergy* 161: 106457. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106457>
- Mátyás Cs., Berki I., Bidló A., Csóka GY., Czímber 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: 489. <https://doi.org/10.3390/f9080489>
- Mátyás Cs., Berki I., Czúcz B., Gálos B., Mórincz N. & Rasztovits E. 2010: Future of Beech in Southeast Europe from the Perspective of Evolutionary Ecology. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 91–110. ISSN 1786-691X
- NFK 2023: Summary Data on Forests in Hungary; National Land Centre, Forestry Department. [https://nfk.gov.hu/Magyarország\\_erdeivel\\_kapcsolatos\\_adatok\\_news\\_513](https://nfk.gov.hu/Magyarország_erdeivel_kapcsolatos_adatok_news_513)
- NIR 2023: National Inventory Report for 1985–2021. Hungary. Chapter: Land-Use, Land-Use Change and Forestry; Somogyi, Z., Tobisch, T., Király É., Hungarian Meteorological Service: Budapest.
- OKIR 2023: National Environmental Information System. <http://web.okir.hu/en/>
- Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2021: Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2021–2027. Innovációs és Technológiai Minisztérium. <https://kormany.hu/dokumentumtar/orszagos-hulladeggazdalkodasi-terv-2021-2027>
- Sanchez Lopez J., Grassi G., Vizzarri M., Fiorese G., Pilli R., Jonsson R. et al. 2021: Brief on the role of the forest-based bioeconomy in mitigating climate change through carbon storage and material substitution, Sanchez Lopez, J., Jasinevičius, G. and Avraamides, M. editor(s), European Commission, JRC124374
- Sartori F., Lal R., Ebinger M.H. & Parrish D.J. 2006: Potential soil carbon sequestration and CO<sub>2</sub> offset by dedicated energy crops in the USA. *Critical Reviews in Plant Sciences* 25: 441–472. <https://doi.org/10.1080/07352680600961021>
- Schelhaas M.J., Esch P.W., Groen T.A., Jong B.H.J., Kanninen M., Liski J. et al. 2004: CO2FIX V 3.1 – A modelling framework for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems. *ALTERRA Rapport No.1068*. Wageningen, Netherlands, ALTERRA. 122 p. ISBN: 1566-7197.
- Searchinger T., Heimlich R. & Houghton R.A. 2008: Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319: 1238–1240. <https://doi.org/10.1126/science.1151861>
- Sikkema R., Styles D., Jonsson R., Tobin B. & Byrne K.A. 2023: A market inventory of construction wood for residential building in Europe—In the light of the Green Deal and new circular economy ambitions. *Sustainable Cities and Society* 90: 104–370. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104370>
- Todaro L. 2012: Effect of steaming treatment on resistance to footprints in Turkey oak wood for flooring. *European Journal of Wood and Wood Products* 70(1-3): 209–214. <https://doi.org/10.1007/s00107-011-0542-2>
- Todaro L., Dichicco P., Moretti N. & D'Auria M. 2013: Effect of combined steam and heat treatments on extractives and lignin in sapwood and heartwood of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) wood. *BioResources* 8(2): 1718–1730. <https://doi.org/10.15376/biores.8.2.1718-1730>
- Todaro L., Zanuttini R., Scopa A. & Moretti N. 2012: Influence of combined hydrothermal treatments on selected properties of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) wood. *Wood Science and Technology* 46(1): 563–578. <https://doi.org/10.1007/s00226-011-0430-2>
- Ujvári-Jármay É., Nagy L. & Mátyás Cs. 2016: The IUFRO 1964/68 inventory provenance trial of Norway spruce in Nyíregyháza, Hungary—results and conclusions of five decades. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 12: 178. <https://doi.org/10.1515/aslh-2016-0001>



- Verkerk P.J., Delacote P., Hurmekoski E., Kunttu J., Matthews R., Mäkipää R. et al. 2022: Forest-Based Climate Change Mitigation and Adaptation in Europe. From Science to Policy 14. European Forest Institute: Joensuu, Finland, ISBN 978-952-7426-22-7. <https://doi.org/10.36333/fs14>
- Wilson J. 2010: Life-cycle inventory of particleboard in terms of resources, emissions, energy and carbon. Wood and Fiber Science 42 (CORRIM Special Issue): 90–106. file:///C:/Users/%C3%89va/Downloads/1349-Article%20Text-1349-1-10-20141206.pdf

*Érkezett: 2024. 07. 23.*

*Közlésre elfogadva: 2024. 09. 17.*

# KOCSÁNYTALAN TÖLGY (*QUERCUS PETRAEA* (MATT.) LIEBL.) ÁLLOMÁNYOK FATERMÉSI FÜGGVÉNYE ÉS TÁBLÁJA AZ ERTI TARTAMKÍSÉRLETI HÁLÓZATÁNAK ADATBÁZISA ALAPJÁN

Kollár Tamás

*Soproni Egyetem – Erdészeti Tudományos Intézet  
Ökológiai és Erdőművelési Osztály*

## Kivonat

Kocsánytalan tölgy fatermési táblát a magyarországi tartamkísérleti hálózat adatai alapján 1981-ban publikált Béky Albert. Azóta jelentős adattömeg halmozódott fel a Soproni Egyetem – Erdészeti Tudományos Intézetének (SOE – ERTI) hosszúlejárátú fatermési és erdőnevelési tartamkísérleti hálózatának újrafelvételezéseivel. Ezen adatbázis alapján fatermési függvény és fatermési tábla készült a kocsánytalan tölgy fatermésének pontosabb becslése érdekében. Összesen 243 db parcella 1329 digitalizált jegyzőkönyvét dolgoztuk fel, mely alapján jelentős különbségeket tapasztaltunk a korábbi táblákhoz képest. A hagyományos fatermési tábla elkészítése mellett részletesen megadjuk a számítások módját, mely alapján kiszámítható egy állomány egyedi növekedési trendje. A táblák 100%-os kocsánytalan tölgy elegyarányt, záródást és sűrűséget feltételezve készültek.

*Kulcsszavak:* kocsánytalan tölgy, fatermési tábla, növedék, tartamkísérleti hálózat, adatbázis

## FOREST YIELD FUNCTION AND TABLE OF SESSILE OAK (*QUERCUS PETRAEA*) STANDS BY THE FRI'S LONG DURATION RESEARCH NETWORK DATABASE

## Abstract

Yield table of sessile oak by the Forest Research Institute's long duration research network was publicised in 1981 by Albert Béky. Since then a great amount of data was accumulated from the University of Sopron – Forest Research Institute's (UOS – FRI) long duration forest yield and silvicultural research network by continuous recordings. From that database new yield functions and yield tables were made in favour of more accurate estimation of sessile oak yield. Altogether 1329 digitalised records from 243 parcels were processed, from that great differences were noticed compared to the previous tables. Besides making the traditional yield table, the methods of calculations were given in detail, from which a forest stand's individual growth trends can be calculated. The tables were made assuming a 100% sessile oak mixture ratio, closure and density.

*Keywords:* sessile oak, yield table, increment, long duration research network, database

## BEVEZETÉS

Hegy- és dombvidéki erdeink legelterjedtebb és legértékesebb fafaja a kocsánytalan tölgy. A kocsánytalan tölgy fafaj 178 ezer ha területet borít Magyarországon, élőfakészlete 37,3 millió m<sup>3</sup> az Országos Erdőállomány Adattár (NFK-EF 2020) alapján. Területaránya az országos erdőterület 10%-a, míg fatömege 9%-ot teszi ki. Gazdasági jelentősége kiemelkedő, azonban védelmi és közjóléti hasznosítása is jelentős.

Kocsánytalan tölgy fatermési táblát a tartamkísérletek adatai alapján 1981-ban publikált Béky Albert (Béky 1981). Korábban 1974-ben Fekete Zoltán és az erdőrendezősek alapján készült külön mag- és sarj eredetű fatermési tábla kocsánytalan tölgyre, Sopp László által (Sopp et al 1974).

A fatermési táblákat a tartamkísérletek eredményei alapján időszakosan felül kell vizsgálni (Somogyi 1989). A kocsánytalan tölgyről ismert kutatásokat Bondor szerkesztésével összegezték 1987-ben (Béky et al 1987). Az azóta eltelt több mint három évtized felvételi adatai és az informatikai technológia fejlődése célszerűvé teszi új fatermési tábla létrehozását és korszerű függvényesített publikálását. Ennek egyik oka, hogy a különböző korszerű biológiai modellek (pl. szén körforgalom, klímaváltozás hatásai, országos erdőleltár növedékesítése) bemenő adata lehet egy fatermési függvény.

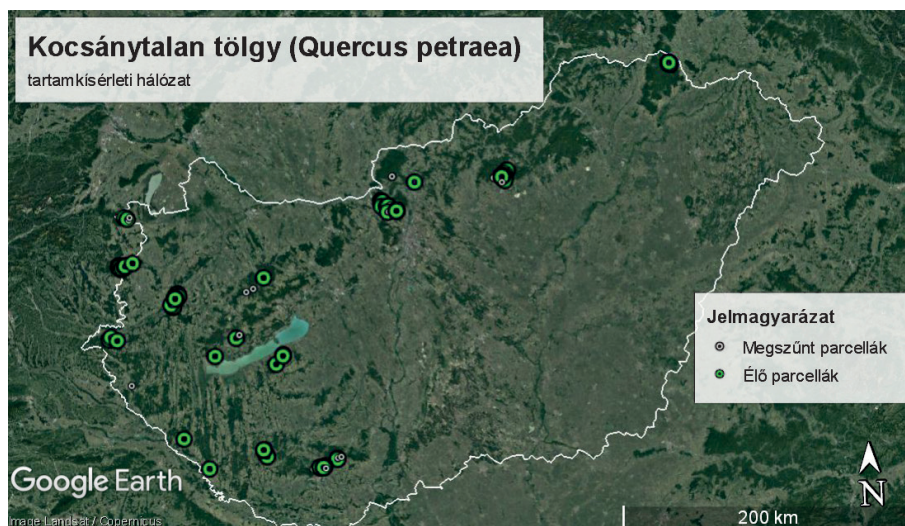
Az ERTI új generációs fatermési tábláinak sorát a bükk és csertölgy után (Kollár 2023a, 2023b) harmadikként azonos módszertannal a kocsánytalan tölgyessel folytatjuk.

## AZ ADATGYŰJTÉS HELYE, MÓDSZERE

### A SOE – ERTI hosszúlejáratú fatermési és erdőnevelési tartamkísérleti hálózata

A fatermési táblák szerkesztésének kiinduló adatait a Soproni Egyetem – Erdészeti Tudományos Intézetének (SOE – ERTI) hosszúlejáratú fatermési és erdőnevelési tartamkísérleti hálózatának (Birck et al 1962, Béky et al 1993) kocsánytalan tölgy főfafajú parcellái adják (1. ábra), melyek az 1960-as évektől állnak rendelkezésünkre. A kísérleti parcellák kitűzésének, felvételének és fenntartásának módszertanát, illetve az erdészeti tartamkísérleti adatrendszer felépítését Kollár és Borovics (2021) cikke tartalmazza részletesen.

Jelen fatermési tábla szerkesztéséhez az erdészeti tartamkísérleti adatrendszer digitálisan hozzáférhető kocsánytalan tölgy főfafajú parcelláinak adatait használtuk fel. Ezek a parcellák felölelik a magyarországi hegy- és dombvidékek változatos termőhelyi és koreloszlású kocsánytalan tölgyeseit a legjobb fatermőképességtől a leggyengébb állományokig. Ez 243 db parcella 1329 digitalizált jegyzőkönyvét jelenti, mely a regiszterekben szereplő kocsánytalan tölgy főfafajú adattömeg 88%-a. Ez átlagosan 5 visszatérési felvételt jelent. Egyes parcellákban csak egy felvétel készült, míg maximális esetben 11 felvétel is készült 5 évtized alatt. Az átlagos visszatérési idő 6 év. A regiszterekben található egyéb parcellák és jegyzőkönyvek nem voltak feldolgozhatóak különböző adathiányok miatt (pl. terület, kor, magasság, eltérő felvételi módszertan stb.), vagy eredeti jegyzőkönyveik nem voltak fellelhetőek. A parcellák között találhatóak a fatermési célú parcellák, de szintén felhasználásra kerültek az erdőnevelési sorok parcelláinak adatai is, mivel fiatalon, tisztítási korban indították ezeket a kísérleteket. Emellett a hasonló módszertannal felvételezett EMMRE intenzív monitoring parcellák is bekerültek a vizsgálatba (Horváth et al. 2009).



1. ábra: A magyarországi tartamkísérleti hálózat kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) főfafajú parcelláinak elhelyezkedése

Figure 1: The Hungarian long duration research network's parcels for sessile oak (*Quercus petraea*) main species

## Az adatbázis rendszerezése, elő feldolgozása

A parcellák felvételei alapján két állományrészt különítettünk el. Az egyik a teljes élőfakészletet adó élőállomány, mely a fő- és elméleti mellékállomány összege, más néven egészállomány. A másik állományrész a két felvételi periódus között eltűnt (kitermelt, lábon száradt vagy kidőlt), száradékként nyilvántartott valós mellékállomány, mely a kitermelt faanyagot jellemzi. A valós mellékállomány fatérfogatót az utolsó ismert adat alapján számoltuk. Az eltűnt faegyedek fakitermelésig vagy elhalásig megtermelt növedéke nem ismert, mivel a kitermelések, illetve az egyes fák elhalásának időpontja pontosan nem meghatározható, kizárólag a felvételek dátumai. A készített fatermési tábla valós mellékállománya emiatt a valósághoz képest alábecsült.

A táblák alapjául szolgáló állományok csak kivételes esetekben teljesen elegyetlenek. Az állományok tőszámát, körlapját és fatérfogatót a körlap szerinti elegyaránnyal osztottuk, ezáltal 100%-os elegyarányra vonatkoztatott adatokat kaptunk. Az idős állományok esetében a záródás gyakran visszaesett a felújító vágások miatt. Ezekben az esetekben az adatokat a záródás értékkel is korrigálni kellett az adatokat 100%-os záródásra. A táblaszerkesztés első lépésekor az állományok sűrűsége nem meghatározható, ahhoz az elkészült fatermési tábla szükséges, majd pedig a fatermési táblát alapul véve lehetséges az adatokat sűrűség függvényében 100% sűrűsége átszámítani.

A tartamkísérleti adatbázisból az alábbi kocsánytalan tölgy főfafajú adatokat használtuk fel a fatermési tábla szerkesztésére (Kollár & Borovics 2021):

A parcella Kora (év), záródásiánya (%) körlap szerinti elegyaránya (%).

Az élőállomány (egészállomány) Felsőmagassága ( $H_{f\bar{e}}$ ) (m), Átlagmagassága ( $H_{g\bar{e}}$ ) (m), Átlagátmérője ( $D_{g\bar{e}}$ ) (cm), Törzsszáma ( $N_{\bar{e}}$ ) (db/ha), Körlapja ( $G_{\bar{e}}$ ) ( $m^2/ha$ ), Fatérfogata ( $V_{\bar{e}}$ ) ( $m^3/ha$ ).

A valós mellékállomány (száradék) Átlagmagassága ( $H_{gm}$ ) (m), Átlagátmérője ( $D_{gm}$ ) (cm), Törzszám ( $N_m$ ) (db/ha), Körlap ( $G_m$ ) ( $m^2/ha$ ), Fatérfogata ( $V_m$ ) ( $m^3/ha$ ).

A Folyónövedék ( $I_f$ ) ( $\text{m}^3/\text{ha}/\text{év}$ ) felvételi időszakonként lett kiszámítva a már 100%-os elegyarányra és záródásra korrigált adatokból.

A görbék simításához egy 5 éves fiatalkori és egy 200 éves időskori fiktív adatsort használtunk.

## A FATERMÉSI TÁBLA SZERKESZTÉSÉNEK MÓDSZERE ÉS SZÁMÍTOTT PARAMÉTEREI

A fatermési tábla szerkesztésének alapjául az Erdőmérnöki Karon oktatott faterméstani tárgy keretein belül kiadott oktatási segédlet szolgált (Veperdi 2005). A tábla adatainak számításához Microsoft 365 Excel (Microsoft 2023) és Statistica 14 (TIBCO 2020) programokat használtunk. Az élőállományt és a mellékállományt azonos módszerrel számoltuk ki, két elkülönülő állományrész-ként vizsgálva. A fatermési tábla szerkesztésekor törekedtünk a korábban publikált táblák szerkezetének megőrzésére, azonban a táblák nem teljesen egyeznek. A korábbi gyérítetlen állományokra vonatkozó főállomány és mellékállomány felosztást, a kezelt erdőkre vonatkozó élőállomány és valós mellékállomány felosztásra változtattuk. Ennek oka, hogy az elméleti mellékállomány elkülönítése a jegyzőkönyvekben nem egyértelmű, mivel a visszatérések nem gyérítési periódusonként, hanem meghatározott időszakonként történtek. Emellett az erdőrendezésben használt erdőrészt leíró lapok se használják ezt a fajta elkülönítést, kizárólag az élő állományra vonatkozó adatokat, és a várható fakitermelés százalékos arányát adják meg, ezért célszerűnek tartottuk a módszertan egyszerűsítését.

A fatermési tábla a hagyományokhoz híven 6, azonos relatív magassági növekedési menetű, egyenlő sávszélességű fatermési osztályra bontva tartalmazza a szokásos állományszerkezeti adatokat 5 éves korszakonkénti bontásban.

### Az élőállomány faállomány-szerkezeti jellemzőinek kiszámítása

Az élőállomány átlagmagasságának vezérgörbéjét aszimptotikus függvénnyel számoltuk:

$$H_{gé \text{ aszimpt}} = 31,14153 \cdot (1 - e^{-0,02107 \cdot Kor})^{1,25381}$$

Az élőállomány körlappal súlyozott átlagmagassága:

$$H_{gé} = H_{gé \text{ ref}} \cdot 1,293176 \cdot (1 - e^{-0,02107 \cdot Kor})^{1,25381}$$

Az élőállomány referencia magassága ( $H_{gé \text{ ref}}$ ) 80 éves korban 3 méteres osztásközökkel lett felosztva: I. fto.: 30 m, II. fto.: 27 m, III. fto.: 24 m, IV. fto.: 21 m, V. fto.: 18 m, VI. fto.: 15 m.

Az élőállomány felsőmagassága:

$$H_{fő} = 0,0028 \cdot H_{gé}^2 + 0,8186 \cdot H_{gé} + 3,5949$$

Az élőállomány körlappal súlyozott átlagos mellmagassági átmérője:

$$D_{gé} = (0,67807329 + 0,007782087 \cdot Kor) \cdot H_{gé}$$



Az élőállomány törzsszáma:

$$N_{\acute{e}} = 10^{4,885074455 - 1,15424856 \cdot \log D_{g\acute{e}} - 0,352012874 \cdot \log D_{g\acute{e}}^2 + 0,068160646 \cdot \log D_{g\acute{e}}^3}$$

Az élőállomány körlapösszege:

$$G_{\acute{e}} = \frac{D_{g\acute{e}}^2}{200} \cdot \pi \cdot N_{\acute{e}}$$

Az élőállomány fatérfogata:

$$V_{\acute{e}} = (0,59316 \cdot H_{g\acute{e}}) \cdot G_{\acute{e}}$$

## A mellékállomány faállomány-szerkezeti jellemzőinek kiszámítása

A mellékállomány átlagmagasságának vezérgörbáját aszimptotikus függvénnyel számoltuk:

$$H_{gm \text{ aszmp}} = 28,84108 \cdot (1 - e^{-0,02487 \cdot Kor})^{1,8854}$$

A mellékállomány körlappal súlyozott átlagmagassága:

$$H_{gm} = H_{gm \text{ ref}} \cdot 1,31956 \cdot (1 - e^{-0,02487 \cdot Kor})^{1,8854}$$

A mellékállomány referencia magassága ( $H_{gm \text{ ref}}$ ) 80 éves korban 3 méteres osztásközökkel lett felosztva, az élőállomány referencia magasságához képest 2 méterrel alacsonyabban: I. fto.: 28 m, II. fto.: 25 m, III. fto.: 22 m, IV. fto.: 19 m, V. fto.: 16 m, VI. fto.: 13 m.

A mellékállomány körlappal súlyozott átlagos mellmagassági átmérője:

$$D_{gm} = (0,424968754 + 0,008602595 \cdot Kor) \cdot H_{gm}$$

A mellékállomány törzsszáma:

$$N_m = A \text{ főállomány törzsszámcsökkenéséből számítva}$$

A mellékállomány körlapösszege:

$$G_m = \frac{D_{gm}^2}{200} \cdot \pi \cdot N_m$$

A mellékállomány fatérfogata:

$$V_m = (0,56507 \cdot H_{gm}) \cdot G_m$$

## Az összes fatermés jellemzőinek kiszámítása

Az összes előhasználat fatérfogata:

$$V_{\acute{o}eh} = a \text{ mellékállomány fatérfogatának összegzése}$$

Az összes fatermés fatérfogata:

$$V_{\acute{o}f} = V_{\acute{e}} + V_{\acute{o}eh}$$

Előhasználati részarány:

$$E_{hr} = \frac{V_{\text{öeh}}}{V_{\text{öf}}} \cdot 100$$

Az összes fatermés átlagnövedéke:

$$I_{\text{á}} = \frac{V_{\text{öf}}}{K_{\text{or}}}$$

Az összes fatermés folyónövedéke:

$$I_f = \text{az összes fatermés 1 évi növekménye}$$

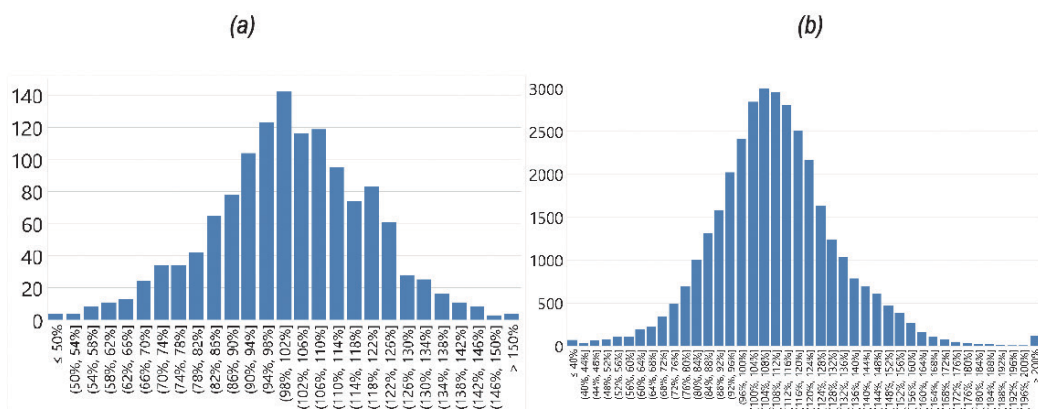
### A sűrűség meghatározása

A korábbi táblák szerkesztésekor az ERTI parcellákat 100% sűrűségűnek feltételezték, azonban az adatok alapján ez nem igazolható. A mintaterületek sűrűsége az országos állományokéhoz hasonlóan jelentős szórással rendelkezik.

A fatermési tábla kiszámítása során az állományok mintapontjai jelentős szórást mutatnak a Törzsszám, Körlap és Fatérfogat esetében. Az adatpontok nem rendeződtek osztályonként. Ahhoz, hogy adataink osztályonként értelmezhetőek legyenek, a kész táblaparaméterek alapján meg kell határoznunk minden parcellára a sűrűséget.

$$S\% = \frac{G_{\text{é}}}{G_{\text{tábla}}}$$

Az így kapott sűrűség értékkel módosítjuk a Törzsszám, Körlap és Fatérfogat adatokat 100% sűrűsége. Ezáltal ezen adatok is felveszik az osztályonkénti eloszlást. A sűrűség értékeket kiszámítottuk az Országos Erdőállomány kocsánytalan tölgy fafajсорaira is. Az állományok sűrűsége a kísérleti parcellák adatai alapján középpontosak, azonban az Országos Erdőállomány Adatbázis sűrűség adatai felfelé 10%-kal eltolódnak (2. ábra), mely különbségnek a feltárása további vizsgálatokat igényel. A sűrűséggel módosított adatok alapján újra elvégezzük a fatermési tábla paramétereinek kiszámítását.



2. ábra: A magyarországi tartamkísérleti hálózat kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) főfafajú parcelláinak (a) és az Országos Erdőállomány Adattár kocsánytalan tölgy fajfajsorainak (b) sűrűségi hisztogramjai

Figure 2: The density histograms of the Hungarian long duration research network's parcels for sessile oak (*Quercus petraea*) main species (a) and the sessile oak species lines of National Forestry Database (b)

## FATERMÉSI TÁBLÁK

Az új kocsánytalan tölgyes fatermési tábla 100%-os elegyarányt, záródást és sűrűséget feltételezve készült. 6, azonos relatív magassági növekedési menetű, egyenlő sávszélességű fatermési osztállyal, 5 éves időszakokra bontva, 160 éves korig tartalmazza a faállomány-szerkezeti jellemzőket.

A számítások eredményeképpen kapott kocsánytalan tölgy fatermési tábla (1-6. táblázat) jelentősen eltér a korábban publikáltaktól. Természetesen ez az eltérés faállomány-szerkezeti jellemzőként, korszakonként és fatermési osztályonként is jelentősen különbözik. Jellemzően az átlagos magasság és átmérő növekedett, ezáltal a fatérfogat és növedék is megnövekedett a korábbi táblához képest. A vizuális összehasonlíthatóság miatt a tábla szerkesztéséhez felhasznált adatokat, az 1974-es (Sopp et al 1974), 1981-es kocsánytalan tölgy fatermési tábla (Béky 1981) és az újonnan elkészített fatermési tábla fatermési osztályonkénti vezérgörbéit diagramokon ábrázoltuk (3-11. ábrák). Eredményeink ellenőrzésére a diagramokon feltüntetettük az Országos Erdőállomány Adattár 2012 évi kocsánytalan tölgy főfafajú vagy csoportos, illetve tömbös elegyben található adatokat, melyeket ez esetben is 100%-os elegyarányra, záródásra és sűrűségre módosítottuk.

A fatermési táblát lehetséges hagyományos módon, a táblázatokból kiolvasott számok használatával is alkalmazni, illetve a függvények használatával is kiszámíthatók a kívánt paraméterek. Ehhez szükséges ismerni a kívánt erdőállomány korát, a kocsánytalan tölgy fajfaj elegyarányát, záródását és sűrűségének kiszámításához annak körlapját.



1. táblázat: Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) fatermési tábla, I. fatermési osztály, Kollár 2024  
Table 1: Sessile oak (*Quercus petraea*) yield table, I. yield class, Kollár 2024

| I. fto. | Élőállomány     |                 |                 |                |                    |                    | Mellékállomány  |                 |                |                    |                    | V <sub>öeh</sub>   | Ehr | Összes fatermés    |                       |                |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----|--------------------|-----------------------|----------------|
| Kor     | H <sub>fé</sub> | H <sub>gé</sub> | D <sub>gé</sub> | N <sub>é</sub> | G <sub>é</sub>     | V <sub>é</sub>     | H <sub>gm</sub> | D <sub>gm</sub> | N <sub>m</sub> | G <sub>m</sub>     | V <sub>m</sub>     |                    |     | V <sub>öf</sub>    | I <sub>á</sub>        | I <sub>f</sub> |
| Év      | m               |                 | cm              | db/ha          | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m               | cm              | db/ha          | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | %   | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha/év |                |
| 5       | 5               | 2               | 2               | 44990          | 8                  | 11                 | 1               | 0               |                |                    |                    |                    |     | 11                 | 2                     | 2              |
| 10      | 8               | 5               | 4               | 13682          | 14                 | 41                 | 2               | 1               | 31308          | 3                  | 4                  | 4                  | 8   | 45                 | 4                     | 7              |
| 15      | 10              | 8               | 6               | 6400           | 18                 | 81                 | 4               | 2               | 7282           | 3                  | 7                  | 10                 | 11  | 91                 | 6                     | 9              |
| 20      | 12              | 10              | 8               | 3669           | 21                 | 125                | 6               | 4               | 2731           | 3                  | 11                 | 21                 | 14  | 146                | 7                     | 11             |
| 25      | 14              | 13              | 11              | 2372           | 23                 | 171                | 9               | 6               | 1297           | 3                  | 15                 | 36                 | 18  | 207                | 8                     | 12             |
| 30      | 16              | 15              | 14              | 1660           | 24                 | 217                | 11              | 8               | 712            | 3                  | 20                 | 56                 | 21  | 273                | 9                     | 13             |
| 35      | 18              | 17              | 16              | 1230           | 26                 | 261                | 13              | 10              | 430            | 3                  | 24                 | 80                 | 23  | 341                | 10                    | 14             |
| 40      | 20              | 19              | 19              | 951            | 27                 | 304                | 15              | 12              | 279            | 3                  | 27                 | 107                | 26  | 411                | 10                    | 14             |
| 45      | 22              | 21              | 22              | 760            | 28                 | 346                | 18              | 14              | 191            | 3                  | 30                 | 137                | 28  | 483                | 11                    | 14             |
| 50      | 24              | 23              | 24              | 624            | 29                 | 385                | 19              | 17              | 136            | 3                  | 33                 | 169                | 31  | 554                | 11                    | 14             |
| 55      | 25              | 24              | 27              | 523            | 29                 | 422                | 21              | 19              | 101            | 3                  | 34                 | 204                | 33  | 626                | 11                    | 14             |
| 60      | 26              | 26              | 29              | 446            | 30                 | 457                | 23              | 22              | 77             | 3                  | 36                 | 240                | 34  | 696                | 12                    | 14             |
| 65      | 28              | 27              | 32              | 387            | 31                 | 489                | 24              | 24              | 60             | 3                  | 37                 | 277                | 36  | 766                | 12                    | 14             |
| 70      | 29              | 28              | 34              | 340            | 31                 | 520                | 26              | 26              | 47             | 3                  | 38                 | 314                | 38  | 834                | 12                    | 14             |
| 75      | 30              | 29              | 37              | 301            | 32                 | 548                | 27              | 29              | 38             | 2                  | 38                 | 352                | 39  | 900                | 12                    | 13             |
| 80      | 31              | 30              | 39              | 270            | 32                 | 575                | 28              | 31              | 31             | 2                  | 38                 | 390                | 40  | 965                | 12                    | 13             |
| 85      | 32              | 31              | 41              | 244            | 33                 | 600                | 29              | 34              | 26             | 2                  | 38                 | 427                | 42  | 1027               | 12                    | 12             |
| 90      | 32              | 32              | 44              | 222            | 33                 | 623                | 30              | 36              | 22             | 2                  | 37                 | 465                | 43  | 1087               | 12                    | 12             |
| 95      | 33              | 32              | 46              | 204            | 34                 | 644                | 31              | 38              | 19             | 2                  | 37                 | 501                | 44  | 1146               | 12                    | 12             |
| 100     | 34              | 33              | 48              | 188            | 34                 | 664                | 31              | 40              | 16             | 2                  | 36                 | 538                | 45  | 1202               | 12                    | 11             |
| 105     | 34              | 34              | 50              | 174            | 34                 | 683                | 32              | 43              | 14             | 2                  | 36                 | 573                | 46  | 1256               | 12                    | 11             |
| 110     | 35              | 34              | 52              | 162            | 35                 | 700                | 33              | 45              | 12             | 2                  | 35                 | 608                | 46  | 1308               | 12                    | 10             |
| 115     | 35              | 35              | 54              | 151            | 35                 | 717                | 33              | 47              | 11             | 2                  | 34                 | 642                | 47  | 1359               | 12                    | 10             |
| 120     | 36              | 35              | 56              | 142            | 35                 | 732                | 34              | 49              | 9              | 2                  | 33                 | 676                | 48  | 1407               | 12                    | 10             |
| 125     | 36              | 35              | 58              | 133            | 36                 | 746                | 34              | 51              | 8              | 2                  | 33                 | 708                | 49  | 1454               | 12                    | 9              |
| 130     | 36              | 36              | 60              | 126            | 36                 | 759                | 34              | 53              | 8              | 2                  | 32                 | 740                | 49  | 1499               | 12                    | 9              |
| 135     | 37              | 36              | 62              | 119            | 36                 | 771                | 35              | 55              | 7              | 2                  | 31                 | 771                | 50  | 1543               | 11                    | 9              |
| 140     | 37              | 36              | 64              | 113            | 36                 | 783                | 35              | 57              | 6              | 2                  | 30                 | 802                | 51  | 1585               | 11                    | 8              |
| 145     | 37              | 37              | 66              | 107            | 37                 | 794                | 35              | 59              | 6              | 1                  | 30                 | 831                | 51  | 1625               | 11                    | 8              |
| 150     | 37              | 37              | 68              | 102            | 37                 | 804                | 35              | 61              | 5              | 1                  | 29                 | 860                | 52  | 1665               | 11                    | 8              |
| 155     | 38              | 37              | 70              | 98             | 37                 | 814                | 35              | 62              | 5              | 1                  | 28                 | 889                | 52  | 1703               | 11                    | 8              |
| 160     | 38              | 37              | 71              | 93             | 37                 | 823                | 36              | 64              | 4              | 1                  | 28                 | 917                | 53  | 1740               | 11                    | 7              |

2. táblázat: Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) fatermési tábla, II. fatermési osztály, Kollár 2024Table 2: Sessile oak (*Quercus petraea*) yield table, II. yield class, Kollár 2024

| II.<br>fto. | Élőállomány     |                 |                 |                |                    |                    | Mellékállomány  |                 |                |                    |                    | V <sub>öeh</sub>   | Ehr | Összes fatermés    |                       |                |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----|--------------------|-----------------------|----------------|
| Kor         | H <sub>fé</sub> | H <sub>gé</sub> | D <sub>gé</sub> | N <sub>e</sub> | G <sub>e</sub>     | V <sub>e</sub>     | H <sub>gm</sub> | D <sub>gm</sub> | N <sub>m</sub> | G <sub>m</sub>     | V <sub>m</sub>     |                    |     | V <sub>öf</sub>    | I <sub>a</sub>        | I <sub>f</sub> |
| Év          | m               |                 | cm              | db/ha          | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m               | cm              | db/ha          | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | %   | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha/év |                |
| 5           | 5               | 2               | 1               | 51412          | 8                  | 9                  | 1               | 0               |                |                    |                    |                    |     | 9                  | 2                     | 2              |
| 10          | 7               | 4               | 3               | 15982          | 14                 | 35                 | 2               | 1               | 35430          | 3                  | 3                  | 3                  | 7   | 38                 | 4                     | 6              |
| 15          | 9               | 7               | 5               | 7551           | 17                 | 70                 | 4               | 2               | 8431           | 3                  | 6                  | 8                  | 11  | 78                 | 5                     | 8              |
| 20          | 11              | 9               | 8               | 4354           | 20                 | 108                | 6               | 3               | 3197           | 3                  | 9                  | 18                 | 14  | 126                | 6                     | 10             |
| 25          | 13              | 11              | 10              | 2825           | 22                 | 148                | 8               | 5               | 1529           | 3                  | 13                 | 30                 | 17  | 179                | 7                     | 11             |
| 30          | 15              | 13              | 12              | 1982           | 24                 | 188                | 10              | 7               | 842            | 3                  | 16                 | 47                 | 20  | 235                | 8                     | 11             |
| 35          | 17              | 15              | 15              | 1472           | 25                 | 228                | 12              | 9               | 511            | 3                  | 20                 | 67                 | 23  | 295                | 8                     | 12             |
| 40          | 19              | 17              | 17              | 1139           | 26                 | 266                | 14              | 11              | 332            | 3                  | 23                 | 90                 | 25  | 356                | 9                     | 12             |
| 45          | 20              | 19              | 19              | 912            | 27                 | 302                | 16              | 13              | 228            | 3                  | 26                 | 115                | 28  | 418                | 9                     | 12             |
| 50          | 21              | 20              | 22              | 749            | 28                 | 337                | 17              | 15              | 163            | 3                  | 28                 | 143                | 30  | 480                | 10                    | 12             |
| 55          | 23              | 22              | 24              | 628            | 29                 | 369                | 19              | 17              | 120            | 3                  | 29                 | 172                | 32  | 542                | 10                    | 12             |
| 60          | 24              | 23              | 26              | 537            | 29                 | 400                | 20              | 19              | 92             | 3                  | 31                 | 203                | 34  | 603                | 10                    | 12             |
| 65          | 25              | 24              | 29              | 465            | 30                 | 429                | 22              | 21              | 71             | 3                  | 31                 | 234                | 35  | 663                | 10                    | 12             |
| 70          | 26              | 25              | 31              | 409            | 30                 | 456                | 23              | 24              | 57             | 2                  | 32                 | 266                | 37  | 722                | 10                    | 12             |
| 75          | 27              | 26              | 33              | 363            | 31                 | 481                | 24              | 26              | 46             | 2                  | 32                 | 299                | 38  | 780                | 10                    | 11             |
| 80          | 28              | 27              | 35              | 325            | 31                 | 504                | 25              | 28              | 38             | 2                  | 32                 | 331                | 40  | 835                | 10                    | 11             |
| 85          | 28              | 28              | 37              | 294            | 32                 | 526                | 26              | 30              | 31             | 2                  | 32                 | 363                | 41  | 889                | 10                    | 11             |
| 90          | 29              | 28              | 39              | 267            | 32                 | 546                | 27              | 32              | 26             | 2                  | 32                 | 395                | 42  | 941                | 10                    | 10             |
| 95          | 30              | 29              | 41              | 245            | 33                 | 565                | 27              | 34              | 22             | 2                  | 31                 | 427                | 43  | 992                | 10                    | 10             |
| 100         | 30              | 30              | 43              | 226            | 33                 | 583                | 28              | 36              | 19             | 2                  | 31                 | 458                | 44  | 1040               | 10                    | 10             |
| 105         | 31              | 30              | 45              | 209            | 33                 | 599                | 29              | 38              | 17             | 2                  | 30                 | 488                | 45  | 1087               | 10                    | 9              |
| 110         | 31              | 31              | 47              | 195            | 34                 | 615                | 29              | 40              | 15             | 2                  | 30                 | 518                | 46  | 1132               | 10                    | 9              |
| 115         | 32              | 31              | 49              | 182            | 34                 | 629                | 30              | 42              | 13             | 2                  | 29                 | 547                | 47  | 1176               | 10                    | 9              |
| 120         | 32              | 31              | 51              | 170            | 34                 | 642                | 30              | 44              | 11             | 2                  | 29                 | 576                | 47  | 1218               | 10                    | 8              |
| 125         | 32              | 32              | 52              | 160            | 35                 | 655                | 30              | 45              | 10             | 2                  | 28                 | 604                | 48  | 1258               | 10                    | 8              |
| 130         | 33              | 32              | 54              | 151            | 35                 | 666                | 31              | 47              | 9              | 2                  | 27                 | 631                | 49  | 1297               | 10                    | 8              |
| 135         | 33              | 32              | 56              | 143            | 35                 | 677                | 31              | 49              | 8              | 2                  | 27                 | 658                | 49  | 1335               | 10                    | 8              |
| 140         | 33              | 33              | 58              | 136            | 35                 | 687                | 31              | 51              | 7              | 1                  | 26                 | 684                | 50  | 1371               | 10                    | 7              |
| 145         | 34              | 33              | 59              | 129            | 36                 | 697                | 31              | 52              | 7              | 1                  | 25                 | 709                | 50  | 1406               | 10                    | 7              |
| 150         | 34              | 33              | 61              | 123            | 36                 | 706                | 32              | 54              | 6              | 1                  | 25                 | 734                | 51  | 1440               | 10                    | 7              |
| 155         | 34              | 33              | 63              | 117            | 36                 | 714                | 32              | 56              | 6              | 1                  | 24                 | 759                | 52  | 1473               | 10                    | 7              |
| 160         | 34              | 33              | 64              | 112            | 36                 | 722                | 32              | 57              | 5              | 1                  | 24                 | 782                | 52  | 1504               | 9                     | 6              |

3. táblázat: Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) fatermési tábla, III. fatermési osztály, Kollár 2024  
Table 3: Sessile oak (*Quercus petraea*) yield table, III. yield class, Kollár 2024

| III. fto. | Élőállomány     |                 |                 |                    |                    |                | Mellékállomány  |                 |                    |                    |                    | V <sub>öeh</sub> | Ehr                | Összes fatermés       |                |                |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Kor       | H <sub>fé</sub> | H <sub>gé</sub> | D <sub>gé</sub> | N <sub>e</sub>     | G <sub>e</sub>     | V <sub>e</sub> | H <sub>gm</sub> | D <sub>gm</sub> | N <sub>m</sub>     | G <sub>m</sub>     | V <sub>m</sub>     |                  |                    | V <sub>of</sub>       | I <sub>a</sub> | I <sub>f</sub> |
| Év        | m               | cm              | db/ha           | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m              | cm              | db/ha           | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | %                | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha/év |                |                |
| 5         | 5               | 2               | 1               | 59462              | 7                  | 7              | 1               | 0               |                    |                    |                    |                  |                    | 7                     | 1              | 1              |
| 10        | 7               | 4               | 3               | 18960              | 13                 | 29             | 2               | 1               | 40502              | 2                  | 2                  | 2                | 7                  | 31                    | 3              | 5              |
| 15        | 9               | 6               | 5               | 9063               | 16                 | 59             | 3               | 2               | 9897               | 2                  | 4                  | 7                | 10                 | 65                    | 4              | 7              |
| 20        | 10              | 8               | 7               | 5261               | 19                 | 92             | 5               | 3               | 3801               | 3                  | 7                  | 14               | 13                 | 106                   | 5              | 8              |
| 25        | 12              | 10              | 9               | 3429               | 21                 | 126            | 7               | 4               | 1832               | 3                  | 10                 | 24               | 16                 | 151                   | 6              | 9              |
| 30        | 14              | 12              | 11              | 2414               | 23                 | 161            | 9               | 6               | 1015               | 3                  | 14                 | 38               | 19                 | 199                   | 7              | 10             |
| 35        | 15              | 14              | 13              | 1796               | 24                 | 195            | 10              | 8               | 618                | 3                  | 16                 | 54               | 22                 | 250                   | 7              | 10             |
| 40        | 17              | 15              | 15              | 1393               | 25                 | 228            | 12              | 9               | 403                | 3                  | 19                 | 73               | 24                 | 302                   | 8              | 10             |
| 45        | 18              | 17              | 17              | 1116               | 26                 | 260            | 14              | 11              | 277                | 3                  | 21                 | 95               | 27                 | 355                   | 8              | 11             |
| 50        | 19              | 18              | 19              | 917                | 27                 | 290            | 15              | 13              | 198                | 3                  | 23                 | 118              | 29                 | 408                   | 8              | 11             |
| 55        | 20              | 19              | 21              | 770                | 28                 | 318            | 17              | 15              | 147                | 3                  | 24                 | 142              | 31                 | 460                   | 8              | 11             |
| 60        | 22              | 20              | 23              | 658                | 28                 | 345            | 18              | 17              | 112                | 3                  | 25                 | 168              | 33                 | 512                   | 9              | 10             |
| 65        | 22              | 21              | 25              | 571                | 29                 | 370            | 19              | 19              | 87                 | 2                  | 26                 | 194              | 34                 | 564                   | 9              | 10             |
| 70        | 23              | 22              | 27              | 502                | 30                 | 393            | 20              | 21              | 69                 | 2                  | 27                 | 220              | 36                 | 614                   | 9              | 10             |
| 75        | 24              | 23              | 29              | 446                | 30                 | 415            | 21              | 23              | 56                 | 2                  | 27                 | 247              | 37                 | 662                   | 9              | 10             |
| 80        | 25              | 24              | 31              | 400                | 31                 | 435            | 22              | 24              | 46                 | 2                  | 27                 | 274              | 39                 | 710                   | 9              | 9              |
| 85        | 26              | 25              | 33              | 361                | 31                 | 454            | 23              | 26              | 38                 | 2                  | 27                 | 301              | 40                 | 756                   | 9              | 9              |
| 90        | 26              | 25              | 35              | 329                | 31                 | 472            | 23              | 28              | 32                 | 2                  | 27                 | 328              | 41                 | 800                   | 9              | 9              |
| 95        | 27              | 26              | 37              | 301                | 32                 | 488            | 24              | 30              | 28                 | 2                  | 26                 | 354              | 42                 | 843                   | 9              | 9              |
| 100       | 27              | 26              | 38              | 278                | 32                 | 504            | 25              | 32              | 24                 | 2                  | 26                 | 380              | 43                 | 884                   | 9              | 8              |
| 105       | 28              | 27              | 40              | 257                | 33                 | 518            | 25              | 33              | 20                 | 2                  | 25                 | 406              | 44                 | 924                   | 9              | 8              |
| 110       | 28              | 27              | 42              | 239                | 33                 | 531            | 26              | 35              | 18                 | 2                  | 25                 | 431              | 45                 | 962                   | 9              | 8              |
| 115       | 28              | 28              | 43              | 224                | 33                 | 543            | 26              | 37              | 16                 | 2                  | 24                 | 455              | 46                 | 999                   | 9              | 7              |
| 120       | 29              | 28              | 45              | 210                | 33                 | 555            | 26              | 38              | 14                 | 2                  | 24                 | 479              | 46                 | 1034                  | 9              | 7              |
| 125       | 29              | 28              | 47              | 197                | 34                 | 566            | 27              | 40              | 12                 | 2                  | 23                 | 503              | 47                 | 1068                  | 9              | 7              |
| 130       | 29              | 29              | 48              | 186                | 34                 | 576            | 27              | 42              | 11                 | 2                  | 23                 | 526              | 48                 | 1101                  | 8              | 7              |
| 135       | 29              | 29              | 50              | 176                | 34                 | 585            | 27              | 43              | 10                 | 1                  | 22                 | 548              | 48                 | 1133                  | 8              | 6              |
| 140       | 30              | 29              | 51              | 167                | 35                 | 594            | 27              | 45              | 9                  | 1                  | 22                 | 570              | 49                 | 1164                  | 8              | 6              |
| 145       | 30              | 29              | 53              | 159                | 35                 | 602            | 28              | 46              | 8                  | 1                  | 21                 | 591              | 50                 | 1193                  | 8              | 6              |
| 150       | 30              | 29              | 54              | 151                | 35                 | 610            | 28              | 48              | 8                  | 1                  | 21                 | 612              | 50                 | 1222                  | 8              | 6              |
| 155       | 30              | 30              | 56              | 144                | 35                 | 617            | 28              | 49              | 7                  | 1                  | 20                 | 633              | 51                 | 1250                  | 8              | 6              |
| 160       | 30              | 30              | 57              | 138                | 35                 | 624            | 28              | 50              | 6                  | 1                  | 20                 | 653              | 51                 | 1276                  | 8              | 5              |



4. táblázat: Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) fatermési tábla, IV. fatermési osztály, Kollár 2024

Table 4: Sessile oak (*Quercus petraea*) yield table, IV. yield class, Kollár 2024

| IV.<br>fto. | Élőállomány     |                 |                 |                |                    |                    | Mellékállomány  |                 |                |                    |                    | V <sub>oeh</sub>   | Ehr | Összes fatermés    |                       |                |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----|--------------------|-----------------------|----------------|
| Kor         | H <sub>fé</sub> | H <sub>gé</sub> | D <sub>gé</sub> | N <sub>e</sub> | G <sub>e</sub>     | V <sub>e</sub>     | H <sub>gm</sub> | D <sub>gm</sub> | N <sub>m</sub> | G <sub>m</sub>     | V <sub>m</sub>     |                    |     | V <sub>of</sub>    | I <sub>a</sub>        | I <sub>f</sub> |
| Év          | m               |                 | cm              | db/ha          | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m               | cm              | db/ha          | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | %   | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha/év |                |
| 5           | 5               | 2               | 1               | 69784          | 6                  | 6                  | 0               | 0               |                |                    |                    |                    |     | 6                  | 1                     | 1              |
| 10          | 6               | 3               | 3               | 22927          | 12                 | 24                 | 1               | 1               | 46857          | 2                  | 2                  | 2                  | 6   | 25                 | 3                     | 4              |
| 15          | 8               | 5               | 4               | 11111          | 15                 | 48                 | 3               | 2               | 11815          | 2                  | 3                  | 5                  | 10  | 53                 | 4                     | 6              |
| 20          | 10              | 7               | 6               | 6503           | 18                 | 76                 | 4               | 3               | 4608           | 2                  | 6                  | 11                 | 12  | 87                 | 4                     | 7              |
| 25          | 11              | 9               | 8               | 4261           | 20                 | 105                | 6               | 4               | 2242           | 2                  | 8                  | 19                 | 15  | 124                | 5                     | 7              |
| 30          | 12              | 10              | 10              | 3012           | 22                 | 135                | 7               | 5               | 1250           | 3                  | 11                 | 30                 | 18  | 165                | 5                     | 8              |
| 35          | 14              | 12              | 11              | 2247           | 23                 | 164                | 9               | 7               | 765            | 3                  | 13                 | 43                 | 21  | 207                | 6                     | 8              |
| 40          | 15              | 13              | 13              | 1746           | 24                 | 192                | 10              | 8               | 500            | 3                  | 15                 | 58                 | 23  | 250                | 6                     | 9              |
| 45          | 16              | 15              | 15              | 1401           | 25                 | 219                | 12              | 10              | 345            | 3                  | 17                 | 75                 | 26  | 294                | 7                     | 9              |
| 50          | 17              | 16              | 17              | 1154           | 26                 | 244                | 13              | 11              | 248            | 2                  | 18                 | 94                 | 28  | 338                | 7                     | 9              |
| 55          | 18              | 17              | 19              | 970            | 27                 | 268                | 14              | 13              | 184            | 2                  | 20                 | 113                | 30  | 382                | 7                     | 9              |
| 60          | 19              | 18              | 21              | 830            | 27                 | 291                | 16              | 15              | 140            | 2                  | 21                 | 134                | 31  | 425                | 7                     | 9              |
| 65          | 20              | 19              | 22              | 720            | 28                 | 312                | 17              | 16              | 109            | 2                  | 21                 | 155                | 33  | 467                | 7                     | 8              |
| 70          | 21              | 20              | 24              | 633            | 29                 | 332                | 17              | 18              | 87             | 2                  | 22                 | 177                | 35  | 509                | 7                     | 8              |
| 75          | 21              | 20              | 26              | 563            | 29                 | 351                | 18              | 20              | 71             | 2                  | 22                 | 198                | 36  | 549                | 7                     | 8              |
| 80          | 22              | 21              | 27              | 505            | 30                 | 368                | 19              | 21              | 58             | 2                  | 22                 | 220                | 37  | 589                | 7                     | 8              |
| 85          | 23              | 22              | 29              | 456            | 30                 | 384                | 20              | 23              | 48             | 2                  | 22                 | 242                | 39  | 626                | 7                     | 8              |
| 90          | 23              | 22              | 31              | 415            | 30                 | 399                | 20              | 24              | 41             | 2                  | 22                 | 264                | 40  | 663                | 7                     | 7              |
| 95          | 24              | 23              | 32              | 381            | 31                 | 413                | 21              | 26              | 35             | 2                  | 21                 | 285                | 41  | 699                | 7                     | 7              |
| 100         | 24              | 23              | 34              | 351            | 31                 | 426                | 21              | 27              | 30             | 2                  | 21                 | 306                | 42  | 733                | 7                     | 7              |
| 105         | 24              | 23              | 35              | 325            | 31                 | 438                | 22              | 29              | 26             | 2                  | 21                 | 327                | 43  | 765                | 7                     | 7              |
| 110         | 25              | 24              | 37              | 303            | 32                 | 450                | 22              | 30              | 23             | 2                  | 20                 | 347                | 44  | 797                | 7                     | 6              |
| 115         | 25              | 24              | 38              | 283            | 32                 | 460                | 22              | 32              | 20             | 2                  | 20                 | 367                | 44  | 827                | 7                     | 6              |
| 120         | 25              | 24              | 39              | 265            | 32                 | 470                | 23              | 33              | 18             | 2                  | 19                 | 387                | 45  | 857                | 7                     | 6              |
| 125         | 26              | 25              | 41              | 249            | 33                 | 479                | 23              | 35              | 16             | 1                  | 19                 | 406                | 46  | 885                | 7                     | 6              |
| 130         | 26              | 25              | 42              | 235            | 33                 | 488                | 23              | 36              | 14             | 1                  | 19                 | 424                | 47  | 912                | 7                     | 5              |
| 135         | 26              | 25              | 44              | 223            | 33                 | 496                | 23              | 37              | 13             | 1                  | 18                 | 443                | 47  | 938                | 7                     | 5              |
| 140         | 26              | 25              | 45              | 211            | 33                 | 503                | 24              | 39              | 11             | 1                  | 18                 | 460                | 48  | 964                | 7                     | 5              |
| 145         | 26              | 26              | 46              | 201            | 34                 | 510                | 24              | 40              | 10             | 1                  | 17                 | 478                | 48  | 988                | 7                     | 5              |
| 150         | 27              | 26              | 47              | 191            | 34                 | 517                | 24              | 41              | 9              | 1                  | 17                 | 495                | 49  | 1012               | 7                     | 5              |
| 155         | 27              | 26              | 49              | 183            | 34                 | 523                | 24              | 42              | 9              | 1                  | 17                 | 511                | 49  | 1034               | 7                     | 5              |
| 160         | 27              | 26              | 50              | 175            | 34                 | 529                | 24              | 44              | 8              | 1                  | 16                 | 528                | 50  | 1056               | 7                     | 4              |



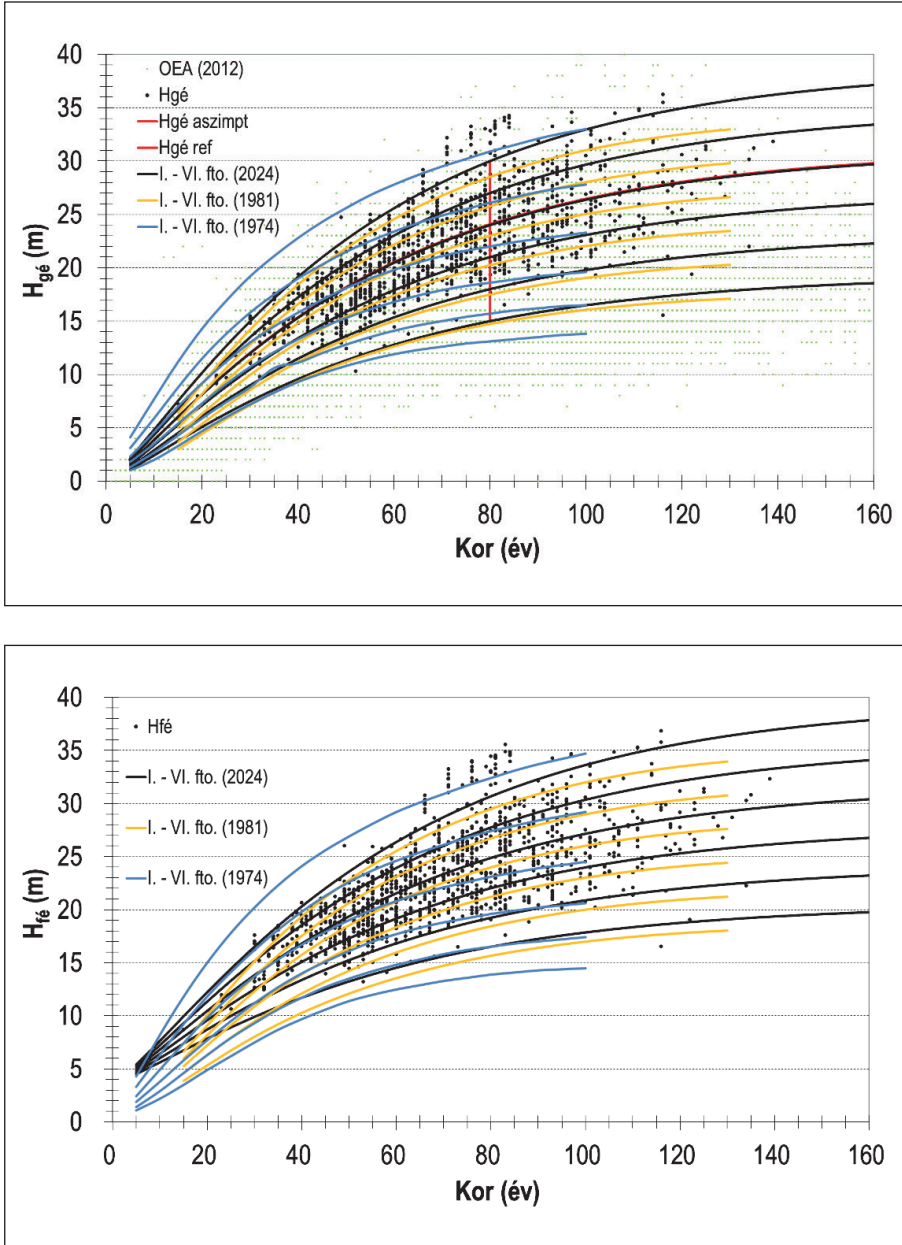
5. táblázat: Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) fatermési tábla, V. fatermési osztály, Kollár 2024  
Table 5: Sessile oak (*Quercus petraea*) yield table, V. yield class, Kollár 2024

| V. fto. | Élőállomány     |                 |                 |                |                    |                    | Mellékállomány  |                 |                |                    |                    |                    | V <sub>öeh</sub> | Ehr                | Összes fatermés       |                |  |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|-----------------------|----------------|--|
| Kor     | H <sub>fé</sub> | H <sub>gé</sub> | D <sub>gé</sub> | N <sub>é</sub> | G <sub>é</sub>     | V <sub>é</sub>     | H <sub>gm</sub> | D <sub>gm</sub> | N <sub>m</sub> | G <sub>m</sub>     | V <sub>m</sub>     | V <sub>öf</sub>    |                  |                    | I <sub>á</sub>        | I <sub>f</sub> |  |
| Év      | m               |                 | cm              | db/ha          | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m               | cm              | db/ha          | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | %                | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha/év |                |  |
| 5       | 5               | 1               | 1               | 83390          | 6                  | 4                  | 0               | 0               |                |                    |                    |                    |                  | 4                  | 1                     | 1              |  |
| 10      | 6               | 3               | 2               | 28401          | 11                 | 18                 | 1               | 1               | 54989          | 2                  | 1                  | 1                  | 6                | 20                 | 2                     | 3              |  |
| 15      | 7               | 5               | 4               | 13998          | 14                 | 38                 | 2               | 1               | 14403          | 2                  | 3                  | 4                  | 9                | 42                 | 3                     | 4              |  |
| 20      | 9               | 6               | 5               | 8276           | 17                 | 61                 | 4               | 2               | 5722           | 2                  | 4                  | 8                  | 12               | 69                 | 3                     | 5              |  |
| 25      | 10              | 8               | 7               | 5459           | 19                 | 85                 | 5               | 3               | 2817           | 2                  | 6                  | 14                 | 14               | 99                 | 4                     | 6              |  |
| 30      | 11              | 9               | 8               | 3876           | 20                 | 109                | 6               | 4               | 1583           | 2                  | 8                  | 22                 | 17               | 131                | 4                     | 6              |  |
| 35      | 12              | 10              | 10              | 2902           | 22                 | 133                | 8               | 6               | 974            | 2                  | 10                 | 32                 | 19               | 165                | 5                     | 7              |  |
| 40      | 13              | 11              | 11              | 2262           | 23                 | 156                | 9               | 7               | 640            | 2                  | 12                 | 44                 | 22               | 200                | 5                     | 7              |  |
| 45      | 14              | 13              | 13              | 1819           | 24                 | 179                | 10              | 8               | 443            | 2                  | 13                 | 57                 | 24               | 236                | 5                     | 7              |  |
| 50      | 15              | 14              | 15              | 1500           | 25                 | 200                | 11              | 10              | 319            | 2                  | 14                 | 71                 | 26               | 271                | 5                     | 7              |  |
| 55      | 16              | 15              | 16              | 1263           | 26                 | 220                | 12              | 11              | 237            | 2                  | 15                 | 86                 | 28               | 306                | 6                     | 7              |  |
| 60      | 17              | 15              | 18              | 1082           | 26                 | 239                | 13              | 12              | 181            | 2                  | 16                 | 102                | 30               | 341                | 6                     | 7              |  |
| 65      | 18              | 16              | 19              | 940            | 27                 | 257                | 14              | 14              | 142            | 2                  | 16                 | 118                | 32               | 375                | 6                     | 7              |  |
| 70      | 18              | 17              | 21              | 827            | 27                 | 273                | 15              | 15              | 113            | 2                  | 17                 | 135                | 33               | 408                | 6                     | 7              |  |
| 75      | 19              | 17              | 22              | 735            | 28                 | 289                | 15              | 16              | 92             | 2                  | 17                 | 152                | 35               | 441                | 6                     | 6              |  |
| 80      | 19              | 18              | 23              | 660            | 28                 | 303                | 16              | 18              | 75             | 2                  | 17                 | 169                | 36               | 472                | 6                     | 6              |  |
| 85      | 20              | 19              | 25              | 597            | 29                 | 317                | 17              | 19              | 63             | 2                  | 17                 | 186                | 37               | 503                | 6                     | 6              |  |
| 90      | 20              | 19              | 26              | 544            | 29                 | 329                | 17              | 20              | 53             | 2                  | 17                 | 203                | 38               | 532                | 6                     | 6              |  |
| 95      | 21              | 19              | 28              | 499            | 30                 | 341                | 18              | 22              | 45             | 2                  | 17                 | 220                | 39               | 560                | 6                     | 6              |  |
| 100     | 21              | 20              | 29              | 460            | 30                 | 352                | 18              | 23              | 39             | 2                  | 16                 | 236                | 40               | 588                | 6                     | 5              |  |
| 105     | 21              | 20              | 30              | 426            | 30                 | 362                | 18              | 24              | 34             | 2                  | 16                 | 252                | 41               | 614                | 6                     | 5              |  |
| 110     | 21              | 20              | 31              | 396            | 31                 | 371                | 19              | 26              | 29             | 2                  | 16                 | 268                | 42               | 639                | 6                     | 5              |  |
| 115     | 22              | 21              | 33              | 371            | 31                 | 380                | 19              | 27              | 26             | 1                  | 16                 | 283                | 43               | 663                | 6                     | 5              |  |
| 120     | 22              | 21              | 34              | 348            | 31                 | 388                | 19              | 28              | 23             | 1                  | 15                 | 299                | 43               | 687                | 6                     | 5              |  |
| 125     | 22              | 21              | 35              | 327            | 31                 | 396                | 19              | 29              | 20             | 1                  | 15                 | 314                | 44               | 709                | 6                     | 4              |  |
| 130     | 22              | 21              | 36              | 309            | 32                 | 403                | 20              | 30              | 18             | 1                  | 15                 | 328                | 45               | 731                | 6                     | 4              |  |
| 135     | 23              | 22              | 37              | 292            | 32                 | 409                | 20              | 31              | 17             | 1                  | 14                 | 342                | 46               | 752                | 6                     | 4              |  |
| 140     | 23              | 22              | 38              | 277            | 32                 | 415                | 20              | 32              | 15             | 1                  | 14                 | 356                | 46               | 772                | 6                     | 4              |  |
| 145     | 23              | 22              | 40              | 263            | 32                 | 421                | 20              | 34              | 14             | 1                  | 14                 | 370                | 47               | 791                | 5                     | 4              |  |
| 150     | 23              | 22              | 41              | 251            | 33                 | 427                | 20              | 35              | 12             | 1                  | 13                 | 383                | 47               | 810                | 5                     | 4              |  |
| 155     | 23              | 22              | 42              | 240            | 33                 | 432                | 20              | 36              | 11             | 1                  | 13                 | 396                | 48               | 828                | 5                     | 4              |  |
| 160     | 23              | 22              | 43              | 229            | 33                 | 437                | 20              | 37              | 10             | 1                  | 13                 | 409                | 48               | 846                | 5                     | 4              |  |

6. táblázat: Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) fatermési tábla, VI. fatermési osztály, Kollár 2024

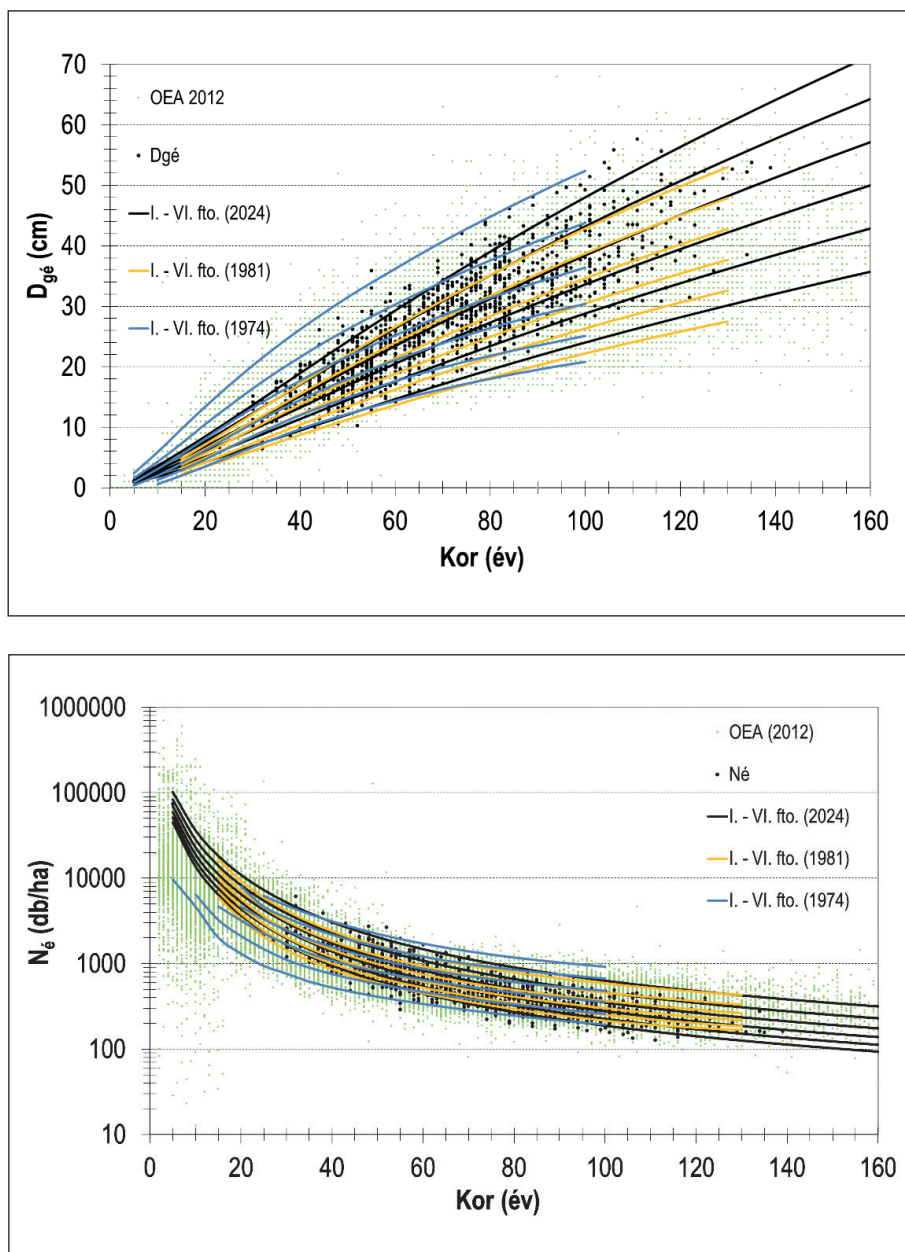
Table 6: Sessile oak (*Quercus petraea*) yield table, VI. yield class, Kollár 2024

| VI.<br>fto. | Élőállomány     |                 |                 |                |                    |                    | Mellékállomány  |                 |                |                    |                    | V <sub>öeh</sub>   | Ehr | Összes fatermés    |                       |                |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----|--------------------|-----------------------|----------------|
| Kor         | H <sub>fé</sub> | H <sub>gé</sub> | D <sub>gé</sub> | N <sub>é</sub> | G <sub>é</sub>     | V <sub>é</sub>     | H <sub>gm</sub> | D <sub>gm</sub> | N <sub>m</sub> | G <sub>m</sub>     | V <sub>m</sub>     |                    |     | V <sub>öf</sub>    | I <sub>a</sub>        | I <sub>f</sub> |
| Év          | m               |                 | cm              | db/ha          | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m               | cm              | db/ha          | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | %   | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha/év |                |
| 5           | 4               | 1               | 1               | 101966         | 5                  | 3                  | 0               | 0               |                |                    |                    |                    |     | 3                  | 1                     | 1              |
| 10          | 6               | 2               | 2               | 36312          | 10                 | 14                 | 1               | 1               | 65654          | 1                  | 1                  | 1                  | 5   | 14                 | 1                     | 2              |
| 15          | 7               | 4               | 3               | 18278          | 13                 | 29                 | 2               | 1               | 18034          | 2                  | 2                  | 2                  | 8   | 31                 | 2                     | 3              |
| 20          | 8               | 5               | 4               | 10944          | 15                 | 47                 | 3               | 2               | 7334           | 2                  | 3                  | 5                  | 10  | 52                 | 3                     | 4              |
| 25          | 9               | 6               | 6               | 7281           | 17                 | 66                 | 4               | 3               | 3663           | 2                  | 4                  | 10                 | 13  | 75                 | 3                     | 5              |
| 30          | 10              | 7               | 7               | 5202           | 19                 | 85                 | 5               | 3               | 2079           | 2                  | 6                  | 15                 | 15  | 100                | 3                     | 5              |
| 35          | 11              | 9               | 8               | 3913           | 20                 | 104                | 6               | 4               | 1289           | 2                  | 7                  | 22                 | 18  | 126                | 4                     | 5              |
| 40          | 12              | 10              | 9               | 3061           | 22                 | 122                | 7               | 6               | 852            | 2                  | 8                  | 31                 | 20  | 153                | 4                     | 5              |
| 45          | 12              | 10              | 11              | 2468           | 23                 | 140                | 8               | 7               | 592            | 2                  | 9                  | 40                 | 22  | 180                | 4                     | 5              |
| 50          | 13              | 11              | 12              | 2040           | 23                 | 157                | 9               | 8               | 428            | 2                  | 10                 | 50                 | 24  | 208                | 4                     | 5              |
| 55          | 14              | 12              | 13              | 1721           | 24                 | 174                | 10              | 9               | 319            | 2                  | 11                 | 61                 | 26  | 235                | 4                     | 5              |
| 60          | 15              | 13              | 15              | 1476           | 25                 | 189                | 11              | 10              | 245            | 2                  | 11                 | 73                 | 28  | 261                | 4                     | 5              |
| 65          | 15              | 13              | 16              | 1284           | 25                 | 203                | 11              | 11              | 192            | 2                  | 12                 | 85                 | 29  | 288                | 4                     | 5              |
| 70          | 16              | 14              | 17              | 1131           | 26                 | 216                | 12              | 12              | 153            | 2                  | 12                 | 97                 | 31  | 313                | 4                     | 5              |
| 75          | 16              | 15              | 18              | 1007           | 27                 | 229                | 12              | 13              | 124            | 2                  | 12                 | 109                | 32  | 338                | 5                     | 5              |
| 80          | 17              | 15              | 20              | 904            | 27                 | 240                | 13              | 14              | 103            | 2                  | 12                 | 122                | 34  | 362                | 5                     | 5              |
| 85          | 17              | 15              | 21              | 818            | 27                 | 251                | 13              | 16              | 86             | 2                  | 12                 | 134                | 35  | 385                | 5                     | 5              |
| 90          | 17              | 16              | 22              | 746            | 28                 | 261                | 14              | 17              | 72             | 2                  | 12                 | 146                | 36  | 408                | 5                     | 4              |
| 95          | 18              | 16              | 23              | 685            | 28                 | 271                | 14              | 18              | 62             | 2                  | 12                 | 158                | 37  | 429                | 5                     | 4              |
| 100         | 18              | 16              | 24              | 631            | 29                 | 280                | 15              | 19              | 53             | 1                  | 12                 | 170                | 38  | 450                | 4                     | 4              |
| 105         | 18              | 17              | 25              | 585            | 29                 | 288                | 15              | 20              | 46             | 1                  | 12                 | 182                | 39  | 470                | 4                     | 4              |
| 110         | 18              | 17              | 26              | 545            | 29                 | 295                | 15              | 21              | 40             | 1                  | 12                 | 194                | 40  | 489                | 4                     | 4              |
| 115         | 19              | 17              | 27              | 510            | 30                 | 302                | 15              | 22              | 36             | 1                  | 11                 | 205                | 40  | 508                | 4                     | 4              |
| 120         | 19              | 17              | 28              | 478            | 30                 | 309                | 16              | 23              | 31             | 1                  | 11                 | 216                | 41  | 525                | 4                     | 4              |
| 125         | 19              | 18              | 29              | 450            | 30                 | 315                | 16              | 24              | 28             | 1                  | 11                 | 227                | 42  | 542                | 4                     | 3              |
| 130         | 19              | 18              | 30              | 425            | 30                 | 321                | 16              | 25              | 25             | 1                  | 11                 | 238                | 43  | 559                | 4                     | 3              |
| 135         | 19              | 18              | 31              | 402            | 31                 | 326                | 16              | 25              | 23             | 1                  | 10                 | 249                | 43  | 575                | 4                     | 3              |
| 140         | 19              | 18              | 32              | 382            | 31                 | 331                | 16              | 26              | 21             | 1                  | 10                 | 259                | 44  | 590                | 4                     | 3              |
| 145         | 19              | 18              | 33              | 363            | 31                 | 336                | 16              | 27              | 19             | 1                  | 10                 | 269                | 44  | 605                | 4                     | 3              |
| 150         | 20              | 18              | 34              | 346            | 31                 | 340                | 16              | 28              | 17             | 1                  | 10                 | 279                | 45  | 619                | 4                     | 3              |
| 155         | 20              | 18              | 35              | 330            | 31                 | 344                | 16              | 29              | 16             | 1                  | 10                 | 288                | 46  | 632                | 4                     | 3              |
| 160         | 20              | 19              | 36              | 316            | 32                 | 348                | 17              | 30              | 14             | 1                  | 9                  | 298                | 46  | 646                | 4                     | 3              |



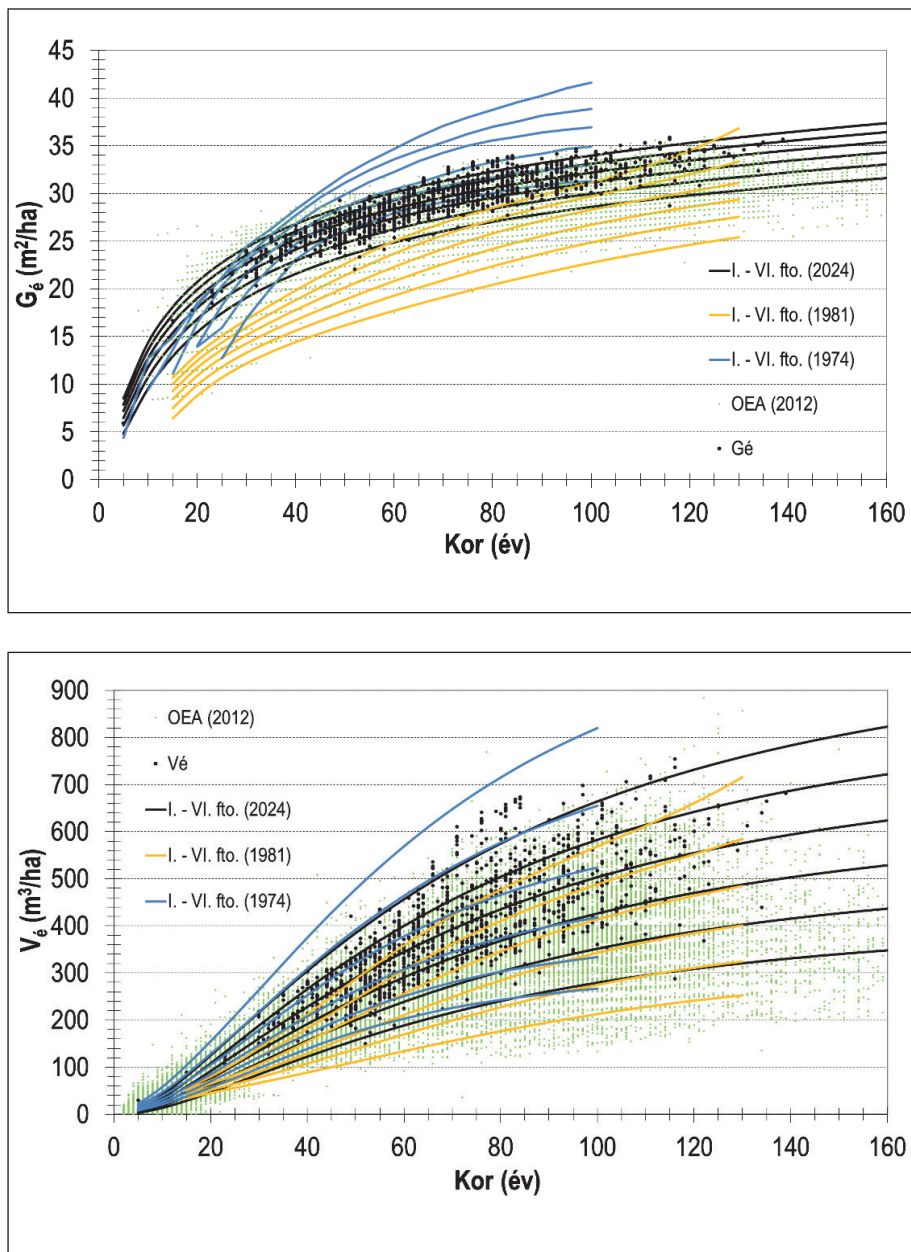
3. ábra: Az élőállomány átlagos és felső magassága a kor függvényében ( $H_{gé}$ ,  $H_{fé}$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1981-es fatermési tábla adataival (sárga görbék).  $H_{gé}$  esetében az Országos Erdőállomány Adattár adatai (zöld pontok), az aszimptotikus vezérgörbe (piros görbe) és a 80 éves referenciakor magasság (piros függőleges vonal) is látható

Figure 3: The average and upper height for living stand depend on age ( $H_{gé}$ ,  $H_{fé}$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves) and 1981 (yellow curves). In case of  $H_{gé}$ , the data of the National Forestry Database (green dots), the asymptotic lead curve (red curve) and the 80 years old reference height (red vertical line) also visible



4. ábra: Az élőállomány átlagos átmérője és törzsszáma a kor függvényében ( $D_{gé}$ ,  $N_{gé}$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1981-es fatermési tábla (sárga görbék) adataival. Az Országos Erdőállomány Adattár adatait (zöld pontok) is megjelenítettük

Figure 4: The average diameter and stem number for living stand depend on age ( $D_{gé}$ ,  $N_{gé}$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves) and 1981 (yellow curves). The data of the National Forestry Database (green dots) are also visible



5. ábra: Az élőállomány körlapösszege és fatérfogata a kor függvényében ( $G_b$ ,  $V_b$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1981-es fatermési tábla (sárga görbék) adataival. Az Országos Erdőállomány Adattár adatait (zöld pontok) is megjelenítettük

Figure 5: The basal-area and timber volume for living stand depend on age ( $G_b$ ,  $V_b$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves) and 1981 (yellow curves). The data of the National Forestry Database (green dots) are also visible



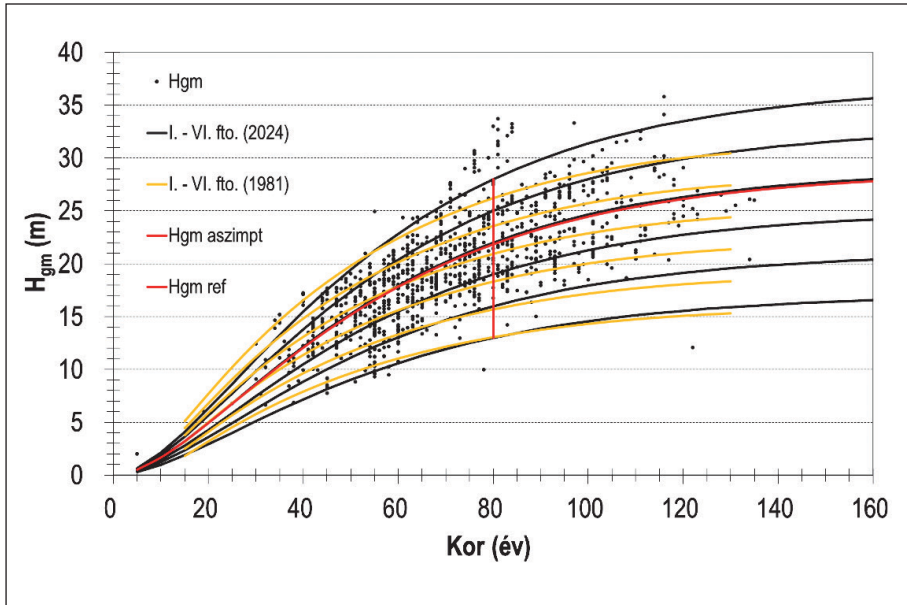
Az élőállomány átlagmagassága ( $H_{g\acute{e}}$ ) és felsőmagassága ( $H_{f\acute{e}}$ ) esetében (3. ábra) kb. félosztálynyi emelkedés figyelhető meg. Az Országos Erdőállomány Adattár adatai főleg idős korban alul becsültek látszanak az új táblához képest. A Sopp tábla 100 éves, a Béky tábla pedig csak 130 éves korig adta meg az adatokat, míg a mostani adatsorok 160 éves korig érvényesek, ami szükséges lehet a vágáskorok emelkedésének tendenciái miatt.

Az élőállomány átlag átmérője ( $D_{g\acute{e}}$ ) esetében (4. ábra) fél osztálynyi eltolódás látható felfelé gyenge termőhelyeken, míg a kiváló termőhelyeken a különbség eléri az egy osztálynyi különbséget is. Az adattár az átlagos átmérőket hasonlóan méri. A törzsszámok ( $N_g$ ) enyhe csökkenést mutatnak. Az adattár szintén hasonló becsléseket mutat.

Az élőállomány körlapösszege ( $G_g$ ) összegzi a korábbiakat (5. ábra), miszerint az átlagátmérő növekedett, a tőszám csökkent, ezáltal a körlap egy viszonylag szűkebb, de magasabb tartományt vesz fel. Az 1974-es tábla jelentősen felül, míg az 1981-es tábla jelentősen alul becsli a körlapot. A tartamkísérleti parcellák körlapösszegének eredeti szórása jelentős, amely a felvételek gyérítéshez való viszonyával magyarázható. Ahol gyérítés utániak a felvételek, jellemzően kisebb körlapot mutatnak, míg ahol a gyérítések elmaradtak, vagy nem következtek be a felvételekig, ott jelentősebb körlapösszeget tapasztaltunk. Az adattári adatok hasonló szórást mutatnak, mint a tartamkísérletek adatai. Mindkét adat esetében a sűrűséggel korrigálva az adatpontok helyzete rendeződött. Az élőállomány fatérfogata ( $V_g$ ) eltolódást mutat, az 1974-es tábla felül, míg az 1981-es tábla alul becsüli a fatérfogatot. Az adattár az 1981-es táblához hasonlóan becsüli az állományok fatérfogatát.

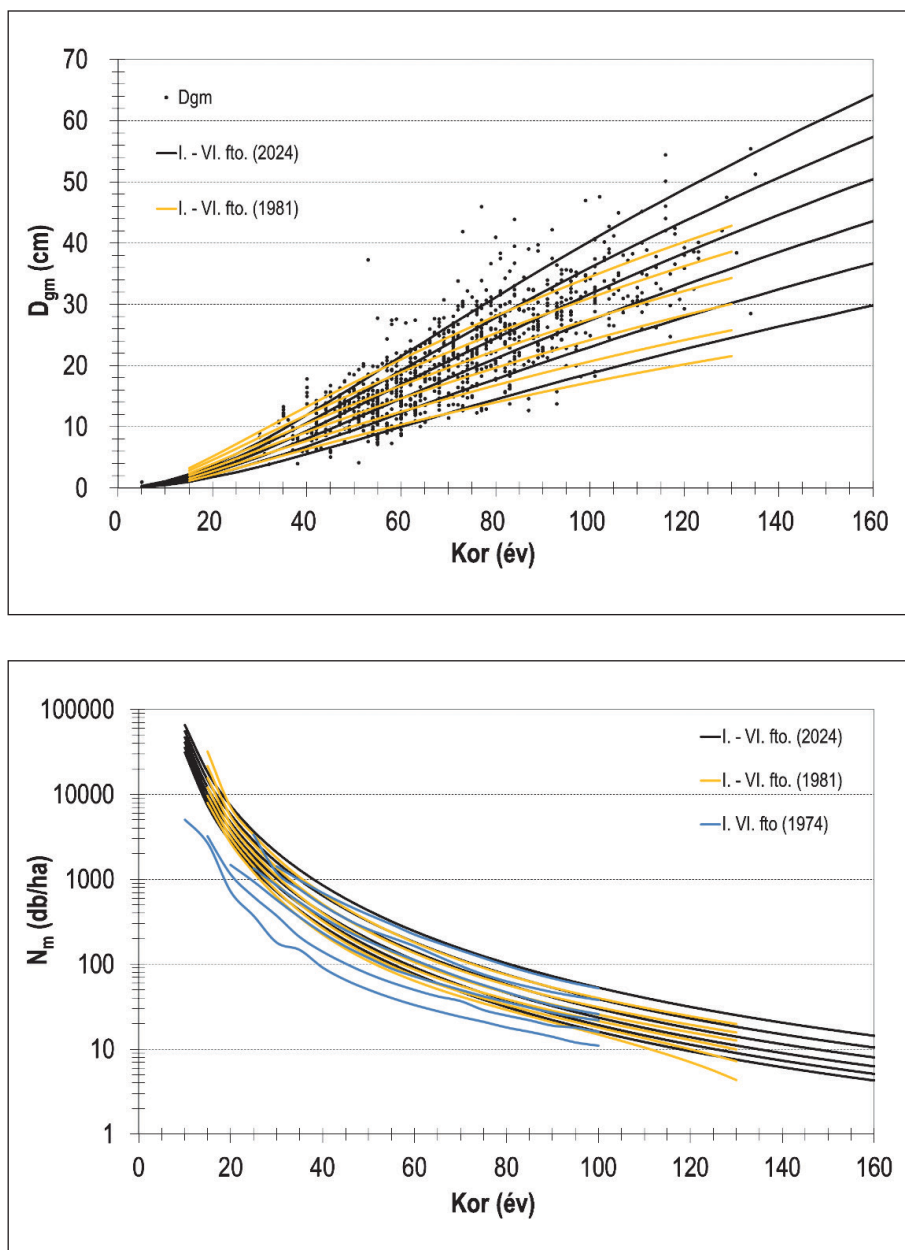
A mellékállományra vonatkozó átlagmagasság, átlagátmérő ( $H_{gm}$ ,  $D_{gm}$ ) adatok az élőállományhoz hasonló felfelé tolódást mutatnak (6-7. ábra). A törzsszám, körlap és fatérfogat adatok ( $N_m$ ,  $G_m$ ,  $V_m$ ) diagramjai szintén jelentős változások láthatóak (7-8. ábra). A mellékállományról az 1974-es tábla csak fatérfogat és számított törzsszám adatot tartalmaz.

Az adatbázis mellékállományra vonatkozó törzsszám, körlap és fatérfogat ( $N_m$ ,  $G_m$ ,  $V_m$ ) adatpontokat nem jelenítettük meg a diagrammokon, melynek oka, hogy a pontok nem fedik a diagrammokat, szórásuk jelentős. Az adatpontok jelentős szórásának oka, hogy a táblaszerkesztés periódusideje eltér a mintavételezés és gyérítési beavatkozások időszakosságától is. A sűrűn egymást követő mintavételeket, alacsony időközi természetes mortalitást (alacsony értékek) és az idősebb korban ritkán végrehajtott erőteljesebb gyérítéseket mutatnák az adatpontok (kiemelkedő értékek). Az elkészített tábla 5 éves periódus idejű, míg alapadatai ugyan általában 5 éves visszatérésekkel dolgozik, de rövidebb (minimum 1 év) és hosszabb periódusok (maximum 22 év) is megtalálhatóak az adatokban (átlagosan 6 év). A mintapontok esetében egy-egy fa természetes mortalitása, kisebb és nagyobb arányú gyérítések felvételhez viszonyított időbeli távolsága is jelentős szórást generál. Egy-egy gyérítés egymáshoz viszonyított ideje 6-35 év az erdőnevelési modellekben, eközben a tartamkísérletek esetében a visszatérési idő általában öt év, emiatt egy parcella idősorában, idősebb korban több kisebb öngyérülés után egy jelentősebb mesterséges gyérítés következik be, majd hosszabb ideig újra magára lehet hagyva az állomány.



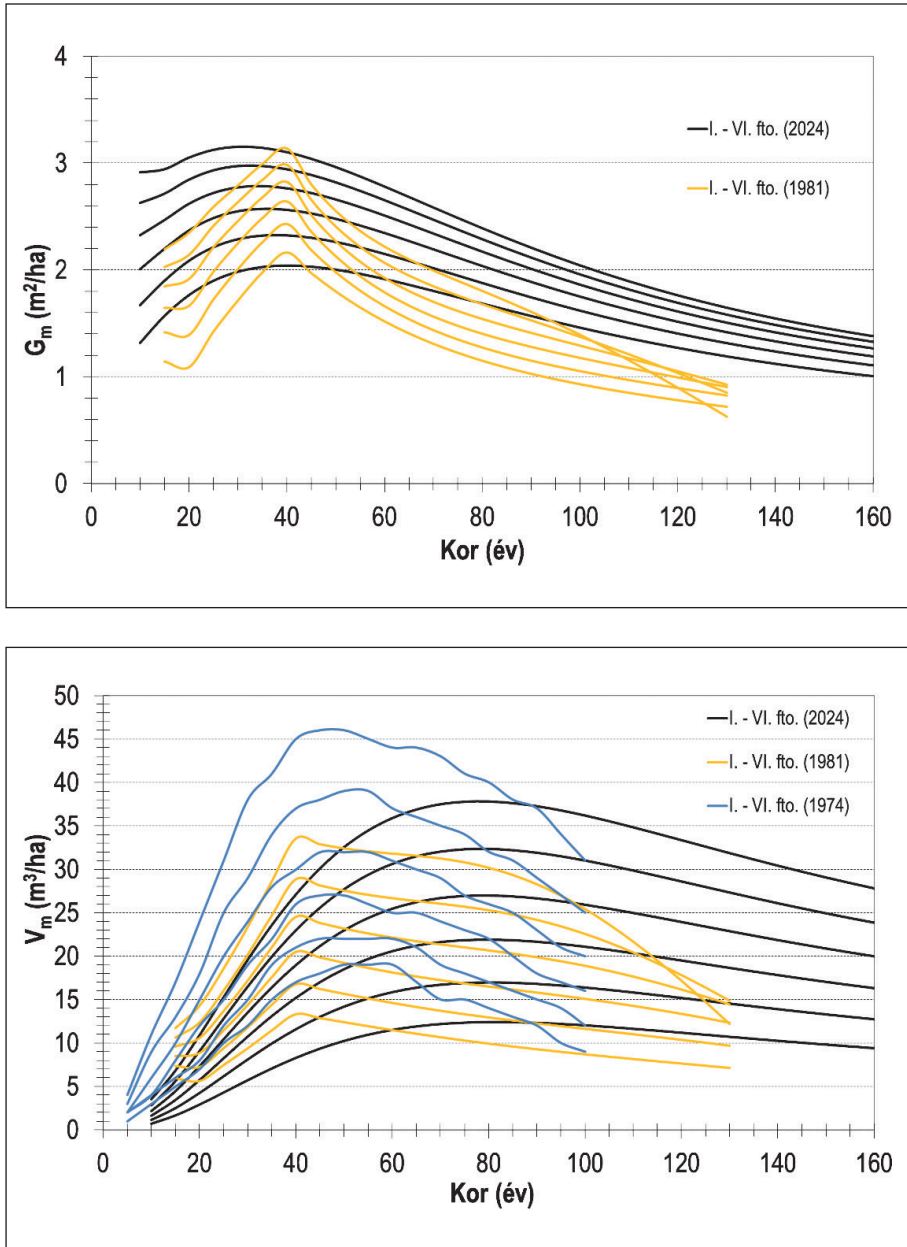
6. ábra: A mellékállomány átlagos magassága a kor függvényében ( $H_{gm}$ ), összehasonlítva az 1981-es fatermési tábla adataival (sárga görbék). Az aszimptotikus vezérgörbe (piros görbe) és a 80 éves referenciakor magasság (piros függőleges vonal) is látható

Figure 6: The average height for secondary stand depends on age ( $H_{gm}$ ), compare with the yield table data from 1981 (yellow curves). The asymptotic lead curve (red curve) and the 80 years old reference height (red vertical line) also visible



7. ábra: A mellékállomány átlagos átmérje és törzsszáma a kor függvényében ( $D_{gm}$ ,  $N_m$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék, csak  $N_m$ ) és 1981-es fatermési tábla adataival (sárga görbék)

Figure 7: The average diameter and stem number for secondary stand depend on age ( $D_{gm}$ ,  $N_m$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves, only  $N_m$ ) and 1981 (yellow curves)

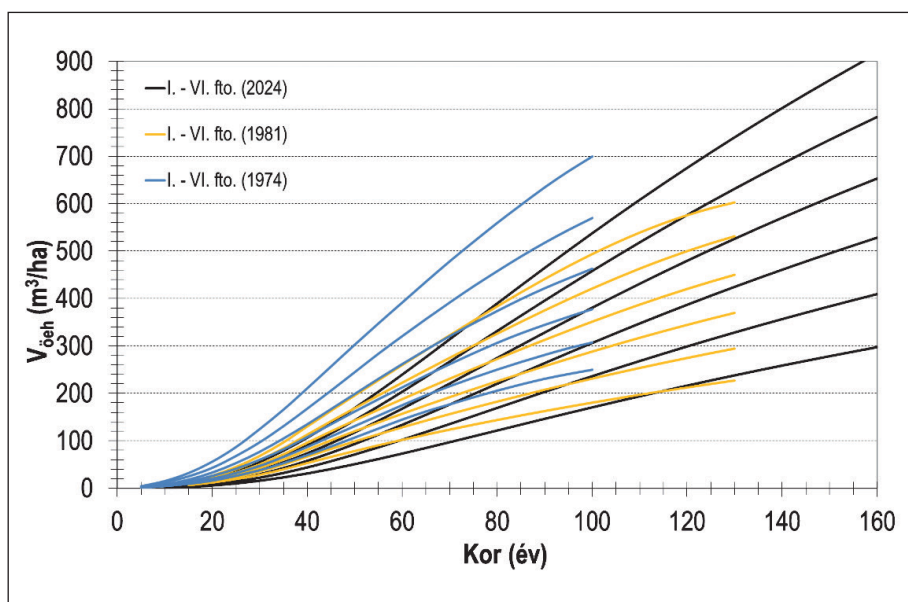


8. ábra: A mellékállomány körlapösszege és fatérfogata a kor függvényében ( $G_m$ ,  $V_m$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék, csak  $V_m$ ) és 1981-es fatermési tábla adataival (sárga görbék)

Figure 8: The basal-area and timber volume for secondary stand depend on age ( $G_m$ ,  $V_m$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves, only  $V_m$ ) and 1981 (yellow curves)

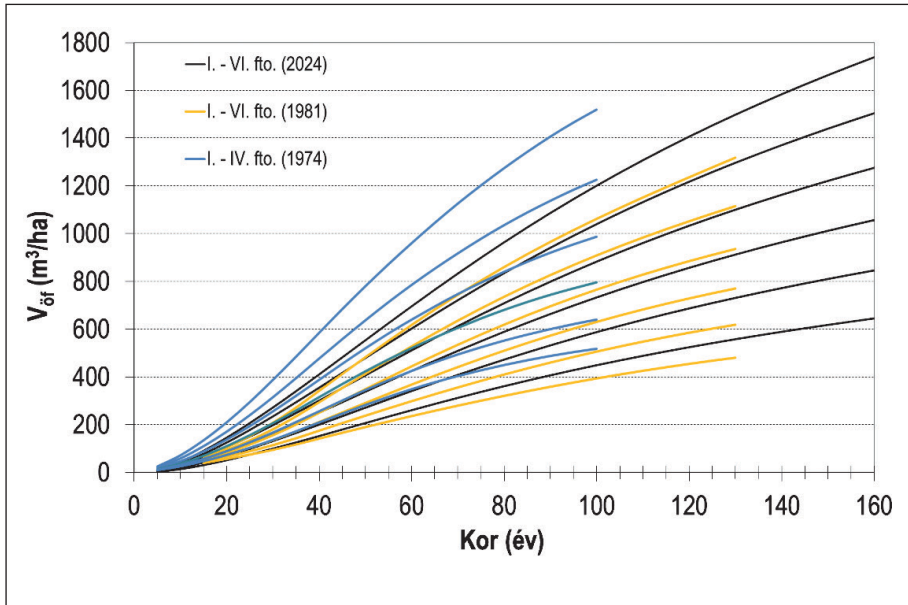
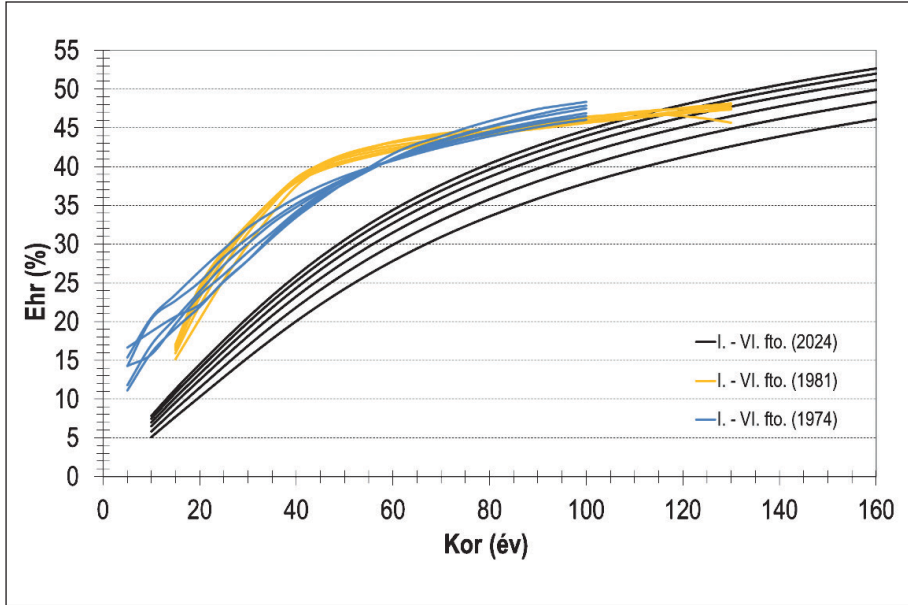
Az összes fatermésre vonatkozó adatok szintén jelentős változásokat mutatnak. Az összes előhasználat ( $V_{\text{öeh}}$ ) esetében az 1974-es tábla felül becsül, az 1981-es tábla pedig időskorban csökkenő előhasználatot mutat. (9. ábra). Az előhasználati részarányok (Ehr) csökkentek (10. ábra). Az összes fatermés fatérfogata ( $V_{\text{öf}}$ ) a két korábbi tábla közé esik.

A kocsánytalan tölgyesek átlagnövedéke ( $I_a$ ) összegzi a korábbiakat (11. ábra), miszerint a növedék valahol a jelentősen felülbecsült 1974-es és az enyhén alul becsült 1981-es tábla között található. A folyónövedék ( $I_f$ ) ugyanezt mutatja. Megjegyzendő, hogy az erdőállomány adattár növedékesítésére használt adatpontok nem fedik az 1974-es és 1981-es görbéket. Ennek oka lehet, hogy az erdőállomány adattár az 1971–72. években készített első generációs Király László féle nomogramok alapján növedékesít, tehát a rendszer frissítése erőteljesen javasolt. A használt algoritmusok a mérési pontok folyónövedéke alapján még így is gyakran alulbecslik a kocsánytalan tölgyesek állományok fatermését.



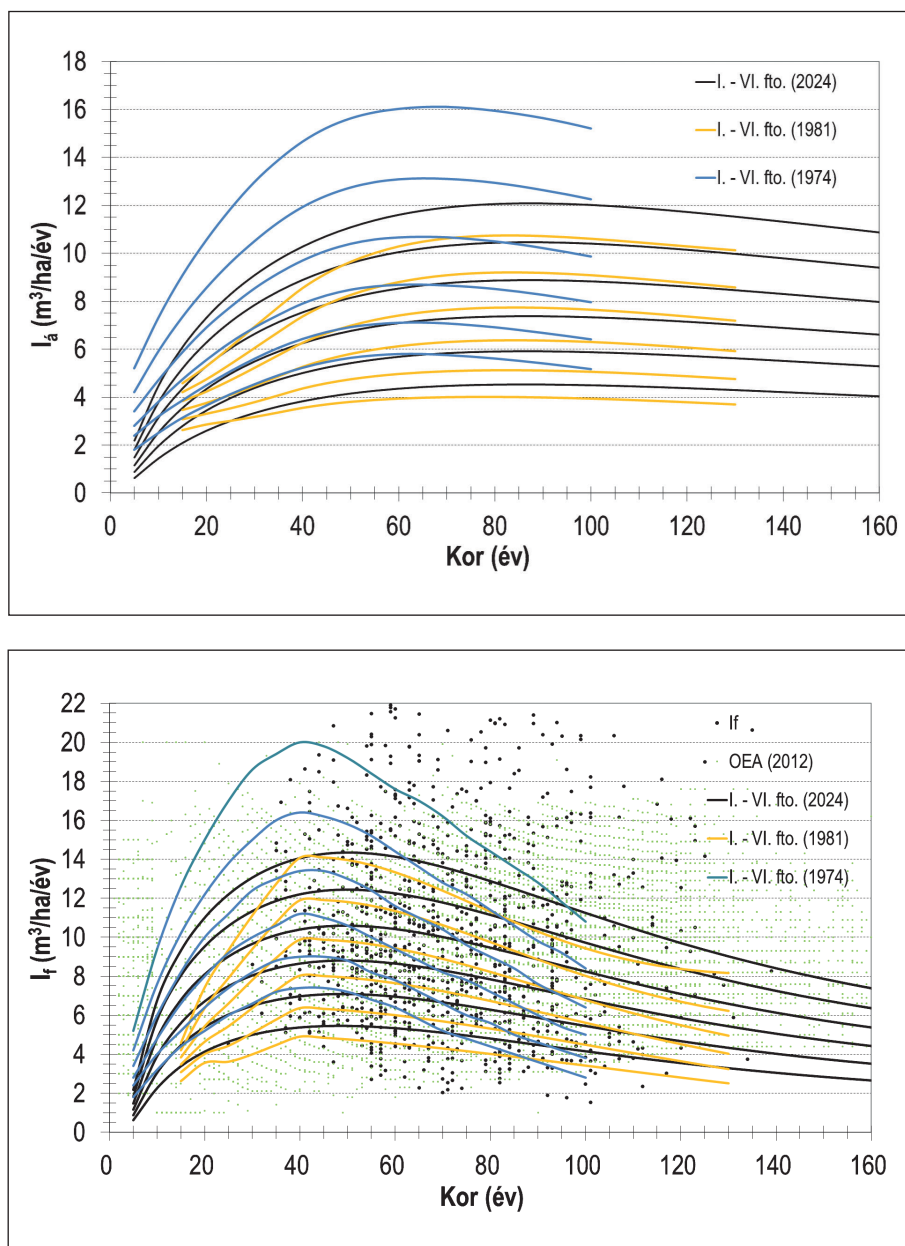
9. ábra: Az összes előhasználat a kor függvényében ( $V_{\text{öeh}}$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1981-es fatermési tábla adataival (sárga görbék)

Figure 9: The total intermediate cutting characteristics depend on age ( $V_{\text{öeh}}$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves) and 1981 (yellow curves)



10. ábra: Az előhasználati részarány és az összes fatermés fatérfogata a kor függvényében ( $E_{hr}$ ,  $V_{öf}$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1981-es fatermési tábla adataival (sárga görbék)  
 Figure 10: The intermediate cutting ratio and the total timber production depend on age ( $E_{hr}$ ,  $V_{öf}$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves) and 1981 (yellow curves)





11. ábra: Az átlag- és folyónövedék a kor függvényében ( $I_a$ ,  $I_t$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1981-as fatermési tábla adataival (sárga görbék).  $I_t$  esetében az Országos Erdőállomány Adattár adatai (zöld pontok) is láthatóak

Figure 11: The average and current increment depend on age ( $I_a$ ,  $I_t$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves) 1981 (yellow curves). In case of  $I_t$  the scatter field of the National Forestry Database (green dots) also visible

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az 1974-es tábla jellemzően felül, míg az utoljára 1981-ban publikált Béky-féle fatermési tábla adataink alapján alulbecsli a kocsánytalan tölgy növedékét, ezért új fatermési táblát készítettünk. A fatermési tábla faállomány-szerkezeti jellemzői jelentősen megváltoztak. A táblák különbségét az adatbázis növekedése és a feldolgozás különbsége is adja. Többszörös adattal dolgozhattunk, mint 1974 vagy 1981 előtt, illetve az adatok digitális feldolgozása is pontosabb eredményeket ad, mint a korábban manuálisan összegzett adatok. A kocsánytalan tölgy főfajájú tartamkísérleti hálózat reprezentativitását bizonyítja, hogy a szórásmezőket az Országos Erdőállomány adataival ellenőriztük. Az új fatermési tábla a korábbi 100 és 130 év helyett már 160 éves korig tartalmazza a legfontosabb faállomány-szerkezeti paramétereket. Javasoljuk az új fatermési táblák használatát az erdőgazdálkodók, erdőtervezők és kutatók számára, mellyel reméljük, hogy megkönnyítjük és pontosabbá tehetjük munkájukat.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom minden korábbi és jelenlegi kollégámnak, akik segítették az ERTI kocsánytalan tölgy főfajájú tartamkísérleteinek fenntartását, felvételezését és adatbeviteli munkáit. Szintén köszönettel tartozom azoknak az erdőgazdaságoknak, melyek több évtizeden keresztül a rendelkezésünkre bocsájtották az erdőterületeket a kísérletekhez. 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.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Béky A. 1981: Mag eredetű kocsánytalan tölgyesek fatermése. Erdészeti kutatások 74: 309-320.
- Béky A., Bondor A., Gabnai E., Hajdú G., Halupa L., Kiss R. et al. 1993: A hosszúlejárátú erdőnevelési és fatermési kísérletek létesítésének, felvételezésének és fenntartásának továbbfejlesztett irányelvei. Erdészeti Kutatások 82-83 (II): 197-213.
- Béky A., Márkus L., Szapannos A. & Temesi G. 1987: A kocsánytalan tölgy. Budapest: Akadémiai kiadó.
- Birck O., Kiss R., Márkus L., Solymos R. & Tallós P. 1962: A hosszúlejárátú erdőnevelési és fatermési kísérleti területek kitűzésének, felvételezésének és fenntartásának irányelvei. Erdészeti kutatások 58 (1-3): 217-259.
- Horváth L., Illés G., Koltay A., Manninger M., Sitkey J. & Tobisch T. 2009: EVH II. szint, intenzív monitoring. In: L. Kolozs, szerk. Erdővédelmi Mérő- és Megfigyelő Rendszer. Budapest: Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Központ Erdészeti Igazgatóság: 27-55.
- Kollár T. 2023a: Bükk (*Fagus sylvatica*) állományok fatermési függvénye és táblája az ERTI tartamkísérleti hálózatának adatbázisa alapján. Erdészettudományi Közlemények 12 (1-2): 5-29.
- Kollár T. 2023b: Csertölgy (*Quercus cerris*) állományok fatermési függvénye és táblája az ERTI tartamkísérleti hálózatának adatbázisa alapján. Erdészettudományi Közlemények 13 (2): 77-101.
- Kollár T. & Borovics A. 2021: A magyarországi hosszú lejárátú erdőszeti tartamkísérleti hálózat fenntartásának korszerű irányelvei, adatfeldolgozási módszerei és legfontosabb eredményei. Erdészettudományi Közlemények 11 (1-2): 1-20.
- Microsoft, Corp. 2023: Microsoft 365 Excel alkalmazás.

- NFK-EF 2020: Magyarország erdeinek összefoglaló adatai 2019, Budapest: Nemzeti Földügyi Központ, Erdészeti Főosztály.
- Somogyi Z. 1989: A változatosság, mint a természet egyik legfontosabb jelensége: gondolatok a fatermési táblák és függvények alkalmazásához. *Az erdő*, XXXVIII (5): 214-218.
- Sopp L., Adorján J., Béky A., Birck O., Faragó S., Fogarasi D. et al. 1974: Fatömegszámítási táblázatok fatermési táblákkal, második, átdolgozott, bővített kiadás. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
- TIBCO Software Inc. 2020: Data Science Workbench, version 14. <http://tibco.com>.
- Veperdi G. 2005: Faterméstan gyakorlati feladatok. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem.

*Érkezett: 2024. 04. 17.*

*Közlésre elfogadva: 2024. 09. 27.*



### Leselkedő cincér

A képen látható gyakori tölgyes-tövises cincér (*Rhagium sycophanta*) imágóival tavasszal, nyár elején tölgyekben találkozhatunk. Lárváit a pusztuló, illetve elpusztult tölgyek kéreg alatt fejlődnek. A kifejlett lárva farostokból madárfészekre emlékeztető bábbölcsőt készít. Ennek funkciója a védekezésre képtelen báb védelme a kéreg alatt élő ragadozók ellen.

**Fotó: Bodó Mónika; szöveg: Csóka György (SOE ERTI)**

## TARTALOMJEGYZÉK

### 14. évfolyam 2. szám

*Jagodics Anikó és Führer Ernő*

**Az avar és a humusztakaró vizsgálata zalai bükkösökben összefüggésben az időjárással** 115-130

*Benke Attila, Toldi Valter, Süle Tamás és Bereczki Katalin*

**A tápanyag-utánpótlás hatása az akác (*Robinia pseudoacacia* L.) levélben történő elemakkumulációjára: egy Tápiószelén létesült kísérlet eredményei** 131-144

*Cseke Klára, Borovics Attila, Jagodics Anikó, Lados Botond Boldizsár, Nagy László, Benke Attila és Kollár Tamás*

**A gyérítések lehetséges hatása bükk állományok genetikai szerkezetére – három hosszú-lejáratú, erdőnevelési sor genetikai és fatermési szempontú értékelése** 145-163

*Szabó András, Gribovszki Zoltán, Szolgay Ján, Kalicz Péter és Bolla Bence*

**Talajvíz és a gyökérszóna kapcsolatának vizsgálata Püspökladány-Farkasszigeti mintaterületen a 2020–2023 közötti időszakban** 165-176

*Horváth Bálint, Nagy-Khell Melinda, Farkas Máté, Németh Tamás Márton, Bereczki Katalin, Bolla Bence, Jeczó Virág, Kiss Lászlóné, Toldi Valter, Fonyó Tamás és Illés Gábor*

**A Remetekert Erdőrezervátum (ER-37) faállományszerkezet, fekvő holtfa és termőhely vizsgálatának eredményei** 177-193

*Ötvös Csaba Béla*

**A lombkorona kutatások jelentősége és főbb módszerei** 195-212

**Az Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 20. évfolyamában (1–2. szám) megjelent tanulmányok címei és kivonatai** 213-216

## CONTENTS

### Vol. 14 Nr. 2

*Anikó Jagodics and Ernő Führer*

**Investigations on leaf litter and humus layers of beech forests in Zala County (Hungary) in relation to weather conditions** 115-130

*Attila Benke, Valter Toldi, Tamás Süle and Katalin Bereczki*

**Effects of fertilization on nutrient accumulation in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) leaves: results of an experiment in Tápiószele** 131-144

*Klára Cseke, Attila Borovics, Anikó Jagodics, Botond Boldizsár Lados, László Nagy, Attila Benke and Tamás Kollár*

**The effect of thinning on the genetic structure of beech stands – a genetic and growth assessment of three long-term beech forest thinning trials** 145-163

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <i>András Szabó, Zoltán Gribovszki, Ján Szolgay, Péter Kalicz and Bence Bolla</i><br><b>Investigation of the relationship between groundwater and the root zone<br/>in the Püspökladány-Farkassziget study site during the period 2020–2023</b>                                                              | 165-176 |
| <i>Bálint Horváth, Melinda Nagy-Khell, Máté Farkas, Tamás Márton Németh, Katalin Bereczki,<br/>Bence Bolla, Virág Jeczó, Lászlóné Kiss, Valter Toldi, Tamás Fonyó and Gábor Illés</i><br><b>Study on the stand structure, lying dead trees and site characteristics<br/>in the Remetekert forest reserve</b> | 177-193 |
| <i>Eötvös Csaba Béla</i><br><b>Why we should research canopy processes and what methods are available</b>                                                                                                                                                                                                    | 195-212 |
| <b>Titles and abstracts of papers published in the 20<sup>th</sup> volume (Nr. 1–2.) of the<br/>Acta Silvatica &amp; Lignaria Hungarica</b>                                                                                                                                                                  | 213-216 |



# AZ AVAR ÉS A HUMUSZTAKARÓ VIZSGÁLATA ZALAI BÜKKÖSÖKBEN ÖSSZEFÜGGÉSBEN AZ IDŐJÁRÁSSAL

Jagodics Anikó és Führer Ernő

Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet

Ökológiai és Erdőművelési Osztály

## Kivonat

Bükkös fatermési kísérleti parcellákban vizsgáltuk az avar- és a humusztakaró szerves anyagának a mennyiségét, szén- és nitrogénkészletének időbeli változását, valamint az időjárási viszonyokkal való összefüggését 2006-ban, 2010-ben és 2013-ban gyűjtött minták alapján. A mért szervesanyag-tömeg a 2006-os minták esetében volt a legnagyobb. A humusztakaró mennyisége 2010-re nagymértékben lecsökkent, majd 2013-ra tovább fogyott. Ennek megfelelően csökkent a szén- és nitrogénkészlet is. A humusz C/N aránya mérsékelt növekedést mutatott az évek előrehaladtával, azonban az értékek minden évben kedvező mull típusú humuszformára utalnak. Mind a mennyiségi, mind a minőségi változások összefüggésbe hozhatók a 2007–2010 közötti időszak január–február–március hónapjainak a sokéves átlagnál enyhébb és csapadékosabb időjárásával. A 2013-ban lombhullás előtt és után gyűjtött minták alapján arra következtettünk, hogy akár két hónap alatt is mintegy 27%-os csökkenés jelentkezhet a humusz szerves anyagának a mennyiségében. A sokéves átlaghoz képest kimutatott magasabb októberi-novemberi átlaghőmérséklet és csapadék-összeg segíthette elő a lebomlási folyamatok felerősödése következtében előállt szervesanyag-csökkenést.

**Kulcsszavak:** *Fagus sylvatica*, avar, humusz, szén- és nitrogénkészlet, klíma

## INVESTIGATIONS ON LEAF LITTER AND HUMUS LAYERS OF BEECH FORESTS IN ZALA COUNTY (HUNGARY) IN RELATION TO WEATHER CONDITIONS

### Abstract

The amount of organic matter in leaf litter and humus layers, the changes in their carbon and nitrogen stocks over time, and their correlation with weather conditions were investigated in experimental plots of European beech (*Fagus sylvatica*) in Zala County, based on samples collected in 2006, 2010 and 2013. The mass of organic matter was the highest in the samples of 2006. The amount of humus decreased considerably by 2010 and then reduced further by 2013. Accordingly, the carbon and nitrogen stocks also decreased. The C/N ratio of humus showed a moderate increase over the years; however, the values indicated a favourable mull-type humus form every year. These changes in quantity and quality can be related to the weather from January to March between 2007 and 2010 which were milder and wetter than the long-term average. Based on the samples collected before and after the autumn litterfall in 2013, we concluded that a 27% decrease in the amount of humus can occur even within two months. Compared to the long-term average, the higher average temperature and precipitation sum of October–November may have contributed to the decrease in organic matter as a result of the intensification of decomposition processes.

**Keywords:** *Fagus sylvatica*, leaf litter, humus, carbon and nitrogen stock, climate

## BEVEZETÉS

Az erdei ökoszisztémákban az avartakaróból (fák elhalt levelei, ágai, valamint egyéb részei) képződő humusz és a belőle felszabaduló tápanyagok az erdőtalaj termékenységének egyik igen fontos forrása (Járó 1958, Bidló & Führer 2022). A lebomlási folyamatot elsősorban az időjárás, az avar kémiai összetétele és a talajban élő szervezetek befolyásolják (Coûteaux et al. 1995, Aerts 1997, Fierer et al. 2003). A hőmérsékleti körülmények és a nedvességi viszonyok lassíthatják vagy felgyorsíthatják a szerves anyagok lebomlását (Coûteaux et al. 2002, Davidson & Janssens 2006). Sajnos az utóbbi évtizedekben, főleg a klímaváltozás (felmelegedés, szárazodás) miatt megfigyelhető (Gálos & Vig 2014, Gálos et al. 2015), hogy az avar- és a humusztakaró szerves anyagának mennyisége és összetétele gyorsan módosulhat. E két szintben pl. a szénkészlet nagysága magyarországi mérések alapján elérheti a 10–15 t/ha értéket (Führer 2004, Führer & Jagodics 2009, Bidló 2014, Führer 2014), ami az erdő éves szénforgalmában jelentős tételnek számít. Az ásványi talaj szénkészlet-változásának folyamata nehezen modellezhető (passzív C-pools), az avar- és a humusztakaróban megkötött szerves anyag (aktív C-pools) azonban gyorsabban alakul át, és a folyamat iránya és mértéke pontosabban becsülhető (McGill 1996). A hőmérséklet változása a kétféle szénkészletre sokszor ellentétesen hat, ezért az eddig kapott eredmények is gyakran ellentmondások (Giardina & Ryan 2000, Melillo et al. 2002, Fierer et al. 2003, Knorr et al. 2005).

Klímajelző fajok közül a bükk (*Fagus sylvatica* L.) klímaigénye a legkifejezettebb, a száraz időszakokra érzékenyen reagál (Járó & Mendlik 1986), és ekkor növekedésében, valamint egészségi állapotában is romlás következik be. Zalában, elsősorban a Göcseji-dombságban a bükkösök kiváló növekedésű, értékes állományokat alkotnak (Mendlik & Birck 1968), ahol elterjedési területük határához közeli termőhelyi körülmények érvényesülnek (Berki et al. 2007, Mátyás et al. 2010, Czúcz et al. 2013). Ezért állományait már rövidebb, néhány évig tartó száraz periódusok is igen kedvezőtlenül érinthetik, ennek nyomán hirtelen egészségi állapotromlás, fapusztulás (Csóka et al. 2009, Molnár & Lakatos 2009), vagyis jelentős károk (Góber 2005) fordulhatnak elő.

Jelen kutatásban zalai bükkösökben vizsgáljuk az avar- és humusztakarót, azzal a céllal, hogy megállapítsuk az ebben tárolt szerves anyag mennyiségét és összetételét, valamint, hogy feltárjuk ezek időbeli változásainak időjárási viszonyokkal való összefüggéseit.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### Kísérleti területek

A kutatást a SOE Erdészeti Tudományos Intézet által fenntartott, állandósított bükk hosszúléjárátú tartamkísérleti területeken végeztük. Az erdőnevelési és faterméstani kutatásokat szolgáló országos tartamkísérleti hálózatot az 1960-as években kezdték kitűzni (Birck et al. 1962, Bondor 1988, Kollár et al. 2018, Kollár & Borovics 2021). Az ezekből származó faállományadatok szolgálták a hazai erdőtervezésben alkalmazott fatermési függvények alapjául, melyeket a felvételezési adatok felhasználásával szerkesztettek meg (Kollár 2022). Emellett a parcellák adatai erdőnevelési modell-táblák kidolgozására is lehetőséget biztosítottak. A ma is meglévő bükkös parcellákban rendszere-sen – öt évente – elvégzik a jelölések megújítását és a faállomány felvételezését. Jelen munkában



1. táblázat: Kísérleti parcellák fatermési adatai 2006-ban  
Table 1: Stand and yield data of the experimental plots in 2006

| Parcella azonosító | Erdőrészlet     | Kor (év) | Átlagmagasság (m) | Átlagos mellmagassági átmérő (cm) | Törzsszám (db/ha) | Fatérfogat (m <sup>3</sup> /ha) |
|--------------------|-----------------|----------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 317                | Zalacsány 3/C   | 116      | 38                | 49                                | 170               | 722                             |
| 318/1              | Zalaújlak 3/B   | 78       | 30                | 33                                | 548               | 771                             |
| 318/2              |                 | 78       | 33                | 35                                | 394               | 703                             |
| 320                | Valkonya 1/B    | 114      | 41                | 49                                | 195               | 875                             |
| 325                | Tormafölde 11/D | 186      | 47                | 68                                | 125               | 1364                            |
| 332                | Bucsuta 24/C    | 122      | 43                | 53                                | 200               | 1115                            |
| 334/1              | Oltárc 5/C      | 86       | 39                | 41                                | 306               | 882                             |
| 334/2              |                 | 86       | 38                | 42                                | 269               | 792                             |
| 337/1              | Kistolmács 12/B | 91       | 35                | 38                                | 364               | 803                             |
| 337/2              |                 | 91       | 35                | 43                                | 281               | 828                             |
| 338/1              | Zajk 10/B       | 95       | 36                | 38                                | 417               | 991                             |
| 338/2              |                 | 95       | 41                | 44                                | 288               | 981                             |

### Avar- és humusztakaró mintavételezése és elemzése

Az időjárási tényezők hatásainak értékeléséhez a 2006. és 2010. években télen, lombhullás után, valamint 2013-ban lombhullás előtt és után gyűjtött minták eredményeit dolgoztuk fel.

A kiválasztott faállományok parcelláiban egy rögzített mintapont és attól sík területen égtájak, lejtős területeken pedig a szintvonal és esésvonal irányában 5–5 méterre, összesen még négy pont került kijelölésre. Egy 50 cm × 50 cm-es keret segítségével a keret teljes területéről szintenként külön-külön begyűjtöttük kézzel az avart és talajmintavevő lapáttal a már humifikálódott szerves anyagot (Jagodics & Führer 2023). Az egyes lebomlási szintek elkülönítésének definiálása és módja a német Talajrendszertani Munkacsoport (Arbeitskreis für Bodensystematik 1985) iránymutatása alapján történt:

1. bomlatlan avartakaró (L): a talaj felszínéről gyűjtött avar, a növényi részek még teljesen egyben vannak, jól felismerhetők.
2. bomlásban lévő avartakaró (F): a növényi részek már dezintegrálódtak, de eredeti szerkezetük még felismerhető, a fajok azonban nem. Szerkezet nélküli finomanyagok már kisebb-nagyobb (30–70%) mennyiségben előfordulnak. A különböző növényi részek sokszor összeragadtak, akár gombafonalakkal is átszöttek.
3. humusztakaró (H): intenzíven bomló, sötétbarna-fekete színű, túlnyomórészt (>70%) finom, szerkezet nélküli szerves anyag. A humusz azon része tartozik ebbe a kategóriába, amely nem a gyökérszóna ásványi talajszintjeiben oszlik el, hanem az, ami a legfelső ásványi talajszintet tartósan borítja (Sponagel et al. 2005).

A nejlonzacskókba felszedett mintákat telephelyre szállítottuk, és szárítás céljából fedett helyen kiterítve tároltuk. Ezt követően az egyes szintek pontosabb elkülönítése végett további, növényi részek és fafajok szerinti osztályozást, válogatást és szítást végeztünk. A fenti módon szétválogatott

minták tömegmérése és jegyzőkönyvezése után laboratóriumi vizsgálatokra való előkészítés és darálás következett. Laboratóriumi mérések során meghatároztuk a minták abszolút száraz tömegét (szárazanyag %), valamint EA3000 CNS elemanalizátorral (EuroVector) a szén- és nitrogéntartalmát (m/m %). Az eredményekből a tömegek figyelembevételével az egy hektárra számított szén- és nitrogénkészletek határozhatók meg mintapontonként. A kiértékelést a parcellánkénti öt mintavételi hely adatainak átlagolásával és szintenkénti összesítésével végeztük.

## Klímaadatok leválogatása és feldolgozása

A HungaroMet Nonprofit Zrt. által létrehozott és üzemeltetett Meteorológiai Adattárból (odp.met.hu, HungaroMet) a rácsponti napi adatsorok közül 11 zalai pont (34, 48, 49, 62, 63, 78, 79, 95, 97, 98, 115 számú pontok) csapadék és átlaghőmérséklet adatait válogattuk le az 1971–2020 időszakra, azokra a területekre, ahol a vizsgált parcellák elhelyezkednek (1. ábra). Az adatokból havonkénti összesítést készítettünk, ez alapján időszakonként, valamint havonként értékeltük a terület klímáját, a vizsgálat témájából adódóan különös tekintettel az őszi és téli időszakokra.

## Statistikai kiértékelés

A meteorológiai adatok évenkénti alakulása alapján vizsgáltuk az éves átlaghőmérséklet és csapadékösszeg, valamint az Ellenberg-index (Ellenberg 1988) és az erdészeti szárazsági index (Führer 2010, Führer et al. 2011, Führer 2018) 50 évre vonatkozó tendenciáit. A különböző időpontokra összesített és átlagolt avar- és humuszminták mennyiségi eltéréseinek kimutatására t-próbát alkalmaztunk. Szórás- és átlagos eltérés-elemzések segítségével egyrészt vizsgáltuk a különböző években, másrészt a lombhullás előtt és után gyűjtött minták szervesanyag-mennyiségei és a klímaadatok közötti összefüggést.

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

### A terület klímaértékelése

Zalára csapadékos, meleg nyarú, enyhe telű, viszonylag kiegyenlített éghajlat jellemző. A szubmediterrán és a szubatlanti ciklonok csapadéka is érinti, emiatt a Göcseji-dombság erdészeti tájrészlet déli fele a bükkösök számára még kedvező klímaadottságokkal rendelkezik (Führer et al. 2022a), ezért hazánkban a legnagyobb élőfakészletű és fatermőképességű bükkösök élőhelye. Kelet felé haladva az atlanti klímahatás egyre gyengül, melyet a csökkenő csapadékadatok jól mutatnak. A Kelet-zalai-löszvidék tájrészlet termőhelyi-erdészeti szempontból elkülönül a Göcseji-dombságtól (Führer et al. 2022b). A Göcseji-dombság kísérleti területeihez a meteorológiai adatbázis 34, 48, 49, 62, 63, 78, 79 számú, a Kelet-zalai-löszvidékhez tartozó parcellák esetében pedig a 95, 97, 98 és 115 számú rácspontjainak adatait vettük számításba.

Az adatokból (2. táblázat) megállapítható, hogy az éves átlaghőmérséklet 10°C feletti, a legmelegebb hónap, a július átlaghőmérséklete túllépi a 20 °C-ot, a leghidegebb a január, átlaga -0,4 °C.

2. táblázat: Éghajlati paraméterek átlagai az 1971–2020 időszakban  
(Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással)

Table 2: Average climatic parameters for the period 1971–2020  
(Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged for each area and season)

| Hónap/<br>időszak/<br>index | Zalai átlag       |                | 48a. Göcseji-dombság |                | 52a. Kelet-zalai-löszvidék |                |
|-----------------------------|-------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------------|----------------|
|                             | hőmérséklet<br>°C | csapadék<br>mm | hőmérséklet<br>°C    | csapadék<br>mm | hőmérséklet<br>°C          | csapadék<br>mm |
| Január                      | –0,4              | 34             | –0,3                 | 34             | –0,4                       | 33             |
| Február                     | 1,5               | 41             | 1,5                  | 42             | 1,4                        | 39             |
| Március                     | 5,8               | 41             | 5,7                  | 42             | 6,1                        | 39             |
| Április                     | 10,5              | 50             | 10,4                 | 51             | 10,7                       | 47             |
| Május                       | 15,2              | 70             | 15,0                 | 72             | 15,4                       | 66             |
| Június                      | 18,5              | 83             | 18,4                 | 86             | 18,8                       | 78             |
| Július                      | 20,3              | 84             | 20,2                 | 87             | 20,6                       | 78             |
| Augusztus                   | 19,7              | 76             | 19,5                 | 78             | 19,9                       | 73             |
| Szeptember                  | 15,2              | 74             | 15,1                 | 78             | 15,5                       | 68             |
| Október                     | 10,2              | 61             | 10,2                 | 64             | 10,4                       | 55             |
| November                    | 4,9               | 62             | 4,9                  | 63             | 5,0                        | 58             |
| December                    | 0,8               | 49             | 0,8                  | 50             | 0,9                        | 47             |
| Év                          | <b>10,2</b>       | <b>723</b>     | <b>10,1</b>          | <b>747</b>     | <b>10,4</b>                | <b>681</b>     |
| Tavaszi                     | 10,5              | 160            | 10,4                 | 166            | 10,7                       | 151            |
| Nyár                        | 19,5              | 243            | 19,4                 | 251            | 19,8                       | 229            |
| Ősz                         | 10,1              | 197            | 10,0                 | 205            | 10,3                       | 182            |
| Tél                         | 0,7               | 123            | 0,7                  | 126            | 0,6                        | 119            |
| Nyugalmi id.                | 2,6               | 226            | 2,5                  | 232            | 3,5                        | 216            |
| Tenyészd.                   | 15,7              | 497            | 15,6                 | 516            | 16,3                       | 465            |
| FAI                         | 5,05              |                | 4,85                 |                | 5,44                       |                |
| EQ                          | 28,1              |                | 27,0                 |                | 30,3                       |                |

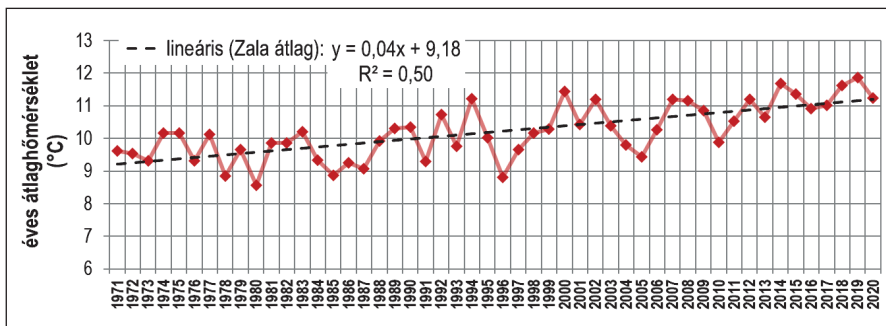
Kelet-Zalában márciustól szeptemberig 0,3–0,4 °C-kal magasabbak a hőmérsékletek, azonban télen hasonlóak az értékek, mint a Göcseji-dombságban. Az éves csapadékösszeg sokéves átlaga 723 mm, viszont a Kelet-zalai-löszvidéken jóval kevesebb (681 mm). A csapadékösszeg minden időszakban kevesebb, mint a Göcseji-dombságban, de a tenyészdő időszakban (–10%) arányosan nagyobb az eltérés, mint a nyugalmi időszakban (–7%).

Az éghajlati viszonyok változásában megfigyelt tendenciák miatt szükséges, hogy a klímaszcenárióknak megfelelő ágazati prognózisok kidolgozásához megbízhatóan modellezhető és előrejelezhető paramétereket alkalmazzunk a klímaértékelésnél, illetőleg klímaosztályozásnál, ilyen például az erdészeti szárazsági index (FAI). A FAI mindkét tájrészletben meghaladja a bükkös klímaosztály felső határértékét (FAI<sub>B</sub>: 4,750), azonban amíg a Göcseji-dombságban átlaga (FAI=4,85) még közel esik a bükkös és a gyertyános-tölgyes klíma határértékéhez, addig a Kelet-zalai-löszvidékre számított érték (FAI=5,44) már egyértelmű gyertyános-tölgyes klímát (FAI<sub>GYT</sub>: 4,751–6,000) jelez (2. táblázat). Az Ellenberg-index (EQ) is hasonló tendenciát mutat, értéke a Göcseji-dombságban 27,



Kelet-Zalában viszont már 30,3, amely a bükk elterjedési határát jelentő értéket meghaladja (Jahn 1991, Czúcz et al. 2013).

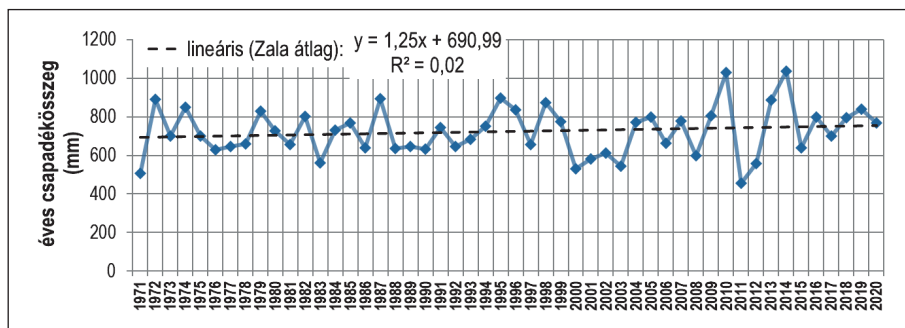
A vizsgált 50 éves időszakban az összes rácspont átlagára illesztett trendek arra utalnak, hogy amíg az éves átlaghőmérséklet (2. ábra) egyértelműen, szignifikánsan növekszik, addig az éves csapadék (3. ábra) trendje csak enyhén emelkedik. A csapadék esetében a 2008–2015 időszakban igen nagy ingadozások figyelhetők meg. A FAI évenkénti alakulása nem mutat szignifikánsan növekvő változást, és az EQ évenkénti értékei is a FAI-hoz hasonló lefutásúak. Mindkét mutató emelkedése csak kismértékű változásnak tekinthető.



2. ábra: Éves átlaghőmérséklet az 1971–2020 időszakban a vizsgált zalai rácspontok átlagára (Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással)

Figure 2: Annual mean temperature (°C) from 1971 to 2020 for the average of climate gridpoint data at the studied area in Zala County (Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged for the area)

Összességében megállapítható, hogy az integrált mutatószám, a FAI-értékek alapján a klíma a bükkös és a gyertyános-tölgyes klíma átmenetéből is egyre inkább a gyertyános-tölgyes klímába tolódik, a bükk termesztése számára valamennyi zalai területen rosszabbodik. A jelentős mértékű hőmérséklet-emelkedés kedvezőtlen hatását a csapadék nagysága mérsékelni már nem képes. A bükkös klímára jellemző feltételek egyre inkább hiányoznak, mindez pedig az érintett erdészeti tájak erdőgazdálkodásának újragondolását teszi szükségessé.



3. ábra: Éves csapadékösszeg az 1971–2020 időszakban a vizsgált zalai rácspontok átlagára (Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással)

Figure 3: Annual precipitation (mm) from 1971 to 2020 for the average of climate gridpoint data at the studied area in Zala County (Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged for the area)

## Három különböző év lombhullás utáni avar- és humusztakaró mintáinak értékelése

### Avar- és a humusztakaró szerves anyag mennyisége

Az egy hektárra számított eredményeket szintenként (bomlatlan avartakaró: L, bomló avartakaró: F, humusztakaró: H) összesítve, a parcellák átlagában közöljük (3. táblázat). A szervesanyag-tömeg a 2006-os minták esetében volt a legnagyobb, mindhárom szint esetében. A humusztakaró szárazanyagban kifejezett átlagos mennyisége elérte a 72,3 t/ha-t, a bomló avartakaróé a 15,0 t/ha, a bomlatlan avar tömege pedig 5,8 t/ha volt. Az összes szerves anyagon (L+F+H) belül a bomlatlan és a bomló avarszint, valamint a humusztakaró szervesanyag-megoszlása: szervesanyag-megoszlása: L: 7%, F: 16% és H: 77%. 2010-ben a humusztakaró mennyisége a 2006-os értékhez viszonyítva drasztikusan, 56%-kal, a bomló avaré 41%-kal, és a bomlatlan avar tömege is jelentősen, 51%-kal csökkent. Az eltérések 1%-os szinten szignifikánsak. Azonban nemcsak a mennyiségek, hanem a szintenkénti arányok is változtak (L: 9%, F: 21% és H: 70%), főleg a humusztakaró szervesanyag-tömegének rovására. 2013-ban a bomlatlan és a bomló avartakaró mennyisége valamelyest növekedett, a humuszé viszont tovább csökkent, 29,2-t/ha-ról 22,9 t/ha-ra, ezért az egyes szintek arányai is hasonlóan változtak: L: 11%, F: 30% és H: 59%. Azaz a különböző időpontokban és szintekben gyűjtött minták szervesanyag-tömegei nemcsak mennyiségi értelemben térnek el egymástól, hanem a lebomlási folyamatoktól függően szintenkénti arányaikban is megváltoznak.

3. táblázat: Három időpontban lombhullás után gyűjtött avar- és humuszminták szárazanyag-tömege (t/ha)  
Table 3: Dry mass ( $t\ ha^{-1}$ ) of leaf litter and humus in each plot according to the separated layers (L, F, H), based on the samples collected after autumn litterfall in three different years

| Parcella  | 2006 |       |       |        | 2010 |       |       |        | 2013  |       |       |        |
|-----------|------|-------|-------|--------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
|           | L    | F     | H     | L+F+H  | L    | F     | H     | L+F+H  | L     | F     | H     | L+F+H  |
| 317       | 5,08 | 16,70 | 75,46 | 97,24  | 5,26 | 10,68 | 28,17 | 44,11  | 3,69  | 21,27 | 25,73 | 50,69  |
| 318/1     | 6,17 | 13,75 | 55,79 | 75,71  | 3,49 | 6,66  | 32,99 | 43,15  | 3,98  | 7,95  | 22,92 | 34,84  |
| 318/2     | 7,16 | 17,38 | 79,23 | 103,77 | 2,63 | 6,47  | 40,47 | 49,57  | 4,09  | 8,08  | 24,71 | 36,88  |
| 320       | 6,43 | 15,81 | 66,78 | 89,02  | 3,19 | 8,05  | 14,93 | 26,17  | 4,95  | 8,79  | 30,03 | 43,78  |
| 325       | 6,42 | 13,65 | 85,71 | 105,78 | 5,34 | 9,96  | 42,28 | 57,58  | 4,68  | 9,91  | 29,07 | 43,66  |
| 332       | 6,41 | 17,54 | 85,14 | 109,10 | 3,10 | 9,06  | 14,37 | 26,53  | 4,46  | 10,93 | 22,78 | 38,17  |
| 334/1     | 6,27 | 16,71 | 53,36 | 76,34  | 4,20 | 9,25  | 11,56 | 25,01  | 5,22  | 9,36  | 19,05 | 33,63  |
| 334/2     | 4,98 | 13,70 | 70,06 | 88,73  | 3,68 | 8,29  | 26,31 | 38,28  | 5,00  | 9,97  | 20,59 | 35,56  |
| 337/1     | 5,57 | 13,59 | 76,29 | 95,45  | 4,27 | 9,10  | 37,79 | 51,16  | 4,14  | 13,87 | 15,51 | 33,51  |
| 337/2     | 4,70 | 12,17 | 81,09 | 97,96  | 4,02 | 10,18 | 36,20 | 50,41  | 4,04  | 15,30 | 24,09 | 43,43  |
| 338/1     | 5,63 | 15,33 | 75,21 | 96,16  | 4,87 | 9,32  | 32,57 | 46,77  | 4,52  | 10,76 | 23,83 | 39,10  |
| 338/2     | 5,24 | 13,88 | 63,07 | 82,18  | 3,25 | 8,39  | 33,12 | 44,76  | 4,06  | 12,11 | 17,05 | 33,22  |
| átlag     | 5,84 | 15,02 | 72,27 | 93,12  | 3,94 | 8,78  | 29,23 | 41,96  | 4,40  | 11,53 | 22,95 | 38,87  |
| szórás    | 0,75 | 1,78  | 10,69 | 10,97  | 0,88 | 1,29  | 10,47 | 10,80  | 0,48  | 3,79  | 4,38  | 5,45   |
| arány (%) | 7,00 | 16,00 | 77,00 | 100,00 | 9,00 | 21,00 | 70,00 | 100,00 | 11,00 | 30,00 | 59,00 | 100,00 |

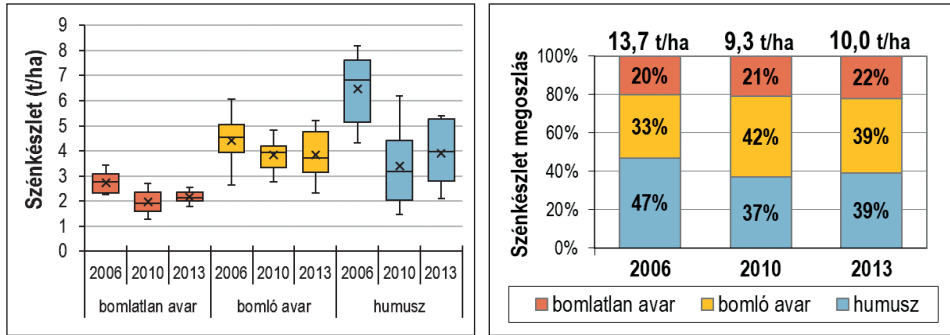
Érdekességgént megemlítendő, hogy a 2006. és 2013. évi mintavételezések esetében a parcellák humusztakarójának szervesanyag-tömegei közepes erősségű kapcsolatban állnak a faállományok korával ( $r = 0,52$ , ill.  $0,55$ ), átmérőjével ( $r = 0,50$ , ill.  $0,51$ ) és átlagnövekedésével ( $r = -0,45$ , ill.  $-0,61$ ). 2010-ben e kapcsolat nem igazolható, valószínűleg az igen gyors és drasztikus humuszbomlásban szerepet játszó, parcellánként is eltérő sokféle tényező összhatásának köszönhetően. Az állományszerkezeti jellemzőkkel való kapcsolatot több közlemény alátámasztja, melyekben a szerzők összefüggést mutattak ki az avarprodukció és a faállományok kora, valamint átlagnövekedé között (Járó 1958, Matala et al. 2008, Hansen et al. 2009).

### Szén- és nitrogénkészletek meghatározása

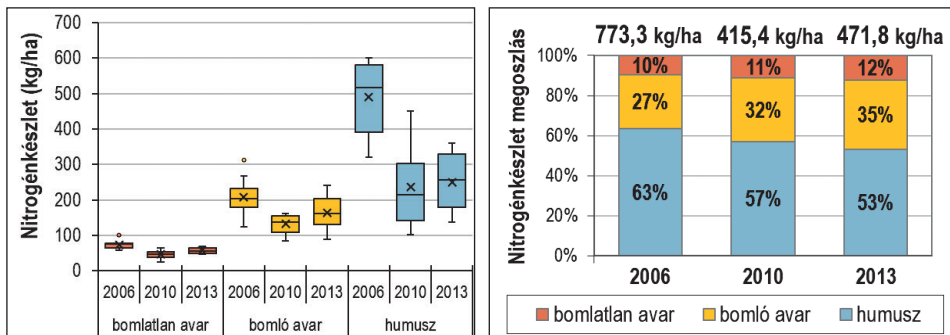
Az avar- és humusztakaró minőségi jellemzése érdekében megvizsgáltuk a minták kémiai összetételét, a szén és a nitrogén tömegszázalékát (koncentrációját), és ezen eredmények segítségével meghatároztuk az avar- és a humusztakaróban tárolt szén- és nitrogénkészletet. A bomlatlan avar esetében, amiben nemcsak egy adott évben elszáradt szerves anyag található, a parcelláktól függően 44% és 51% közötti szénkoncentrációkat mértünk. A lebomlási folyamat eredményeként a bomló avarban az egyes parcellák között az átlagok jobban különböznek, és már csak 30% és 47% közöttiek. A humusztakaró széntartalma nagy szórást mutat, értékei a parcelláktól függően 6% és 27% között alakulnak, ugyanakkor a vizsgálati (mintavételi) évek előrehaladtával a parcellák többségében az értékekben egy emelkedő tendencia figyelhető meg. A nitrogén koncentráció-értékei a bomlatlan avarban 1,03–1,43% között, a bomlóban 1,11–1,83% között, a humusztakaróban pedig 0,51–1,64% között ingadoztak parcelláktól függően. Az intenzív bomlási szakaszban a nitrogén-koncentráció emelkedik, majd a bomlási folyamat további előrehaladása és a szerves anyag fokozódó ásványosodása során csökken. Ez összhangban áll több kutatás eredményével, amelyek szintén rámutattak erre a folyamatra (Járó 1958, Gere & Hargitai 1971, Pántos et al. 1981, Portillo-Estrada et al. 2016). A parcellák nagyobb részében a nitrogén koncentrációja rendre emelkedik a vizsgálati évek előrehaladtával.

A parcellák átlagai (4. ábra) alapján az állapítható meg, hogy amíg 2006-ban az avar- és humusztakaró összes szénkészlete megközelítette a 14 t/ha-t, addig 2010-re annak nagysága 9 t/ha körülire esett vissza, amely 2013-ra nem változott jelentősen. Ez a nagymértékű fogyás a humusztakaró szénkészlet-csökkenésének (6,5 t/ha-ról 3,4 t/ha-ra) tulajdonítható, amely így 47,2%-kal lett kevesebb. A szignifikáns változás 2006/2007 tele és 2010/2011 tele között ment végbe. A szénkészletekre kapott értékek jól közelítik a hasonló módszerekkel végzett kutatások eredményeit (Führer & Jagodics 2009, Führer 2014).

A szénkészlet alakulásához hasonlóan változtak a nitrogénkészletek (5. ábra). Összességében és a különböző szinteken is a 2006. évi értékek jóval magasabbak a 2010. és 2013. évi értékeknél. 2006 telén összesen 773 kg/ha, míg 2010-ben 415 kg/ha, végül 2013-ban 472 kg/ha volt az avar- és humusztakaróban mért összes nitrogénkészlet. Mind a bomlatlan avar-, mind a bomló avar-, és főként a humusztakaró esetében is a nitrogénmennyiség csökkenése (1%-os szinten szignifikáns) figyelhető meg 2006 után, míg 2010 és 2013 között nem mutatkozott jelentősebb változás. A nitrogénkészletekre vonatkozó eredményeink az avar- és humusztakaró esetében vethetők össze más hazai kutatási eredményekkel. Egy gödöllői bükkös éves bomlatlan avar-tömegének (L) nitrogénkészlete tíz év átlagában 55,1 kg/ha volt (Járó 1990), míg farkasgyepűi bükkösökben a bomlatlan és bomló avarszintben (L+F) 199,8–271,8 kg/ha nitrogénkészletet mutattak ki (Pántos et al. 1981).



4. ábra: Három év lombhullás után gyűjtött mintáinak szénkészlete és annak megoszlása  
 Figure 4: Carbon stocks (left) and percentages (right) of the separated layers, based on the samples collected after autumn litterfall in three different years



5. ábra: Három év lombhullás után gyűjtött mintáinak nitrogénkészlete és annak megoszlása  
 Figure 5: Nitrogen stocks (left) and percentages (right) of the separated layers, based on the samples collected after autumn litterfall in three different years

A három mintavételezési időszakra meghatároztuk a humusztakaró szerves anyagának szén és nitrogén arányát (C/N), amivel jellemezni tudjuk a humusz típusát (nyers humusz, moder, mull). Az arány az adott közeg bioaktivitására jellemző tényező, egyben minősíti a termőhely termőképességét, és befolyásolja a faállományok fatermését, ill. növekedési viszonyait is. A humusztakaró átlagos C/N aránya 2006-ban 13,2, amely 2010-ben 14,4-re, majd 2013-ban 15,6-re emelkedett. Ez önmagában kedvezőtlen folyamatot jelez, azonban a vizsgált területek ökológiai adottságait figyelembe véve mindhárom érték a faállományok szempontjából kedvező humusztípusra utal (Járó 1959, Vanmechelen et al. 1997). A kapott értékek alapján ugyanis a kísérleti parcellák humusz-félesége mull típusúnak tekinthető (C/N: 12–20). A különböző időszakokban végzett eddigi vizsgálatok eredményei tehát enyhe növekedést mutatnak, azonban a klímaváltozással kapcsolatosan jövőre vonatkozó előrejelzés a vizsgálati idősor rövidege miatt még nem tehető, ahhoz további mérésekre van szükség.

## A szénkészlet-változás és az időjárás alakulása közötti kapcsolat

A klímaadatok közül először a 2007–2010, és az ezt megelőző 2003–2006 közötti időszakot hasonlítottuk össze. Általában megállapítható, hogy a két időszak átlagos hőmérséklet- és csapadéadatainak eltérései nagy változatosságot mutatnak. Vagy a hőmérséklet több, és akkor a csapadék kevesebb, vagy fordítva, vagy mindkét paraméter egy irányba változik. Tekintettel arra, hogy a lebontó szervezetek tevékenységének intenzitása elsősorban a hőmérséklettől és a nedvességtől függ, kerestünk olyan pár hónapon átívelő periódust, ami alatt intenzív lebomlás, elsősorban a humusztakaróban lejátszódhatott. Ezek alapján megállapítható volt, hogy a 2007-től 2010-ig terjedő időszakban a január–márciusi átlaghőmérséklet 2,9 °C-kal, a csapadékösszeg pedig 29%-kal volt több, mint 2003–2006 ugyanezen időszakának átlaga.

A második periódus éveit az 1971–2006 időszak átlagához viszonyítva kitűnt, hogy a 2007. év volt a leginkább kiugró, amikor is a hőmérséklet 3,7 °C-kal, a csapadék pedig 58%-kal volt nagyobb a sokéves átlagoknál (2,0 °C, 106 mm) (4. táblázat). Természetesen feltételezhető, hogy kisebb mértékben ugyan, de még más évek kedvező időjárású hónapjai is szerepet játszhattak a felgyorsult humuszlebomlás bekövetkezésében. Azonban beigazolódni látszik, hogy a télvégi és tavasz eleji nedvesebb, valamint melegebb időjárási körülmények a bomló avar- és a humusztakaró lebomlását elősegítik, a szárazabb és hidegebb viszonyok pedig gátolják, lassítják a folyamatot (Járó 1963, Portillo-Estrada et al. 2016, Santonja et al. 2017).

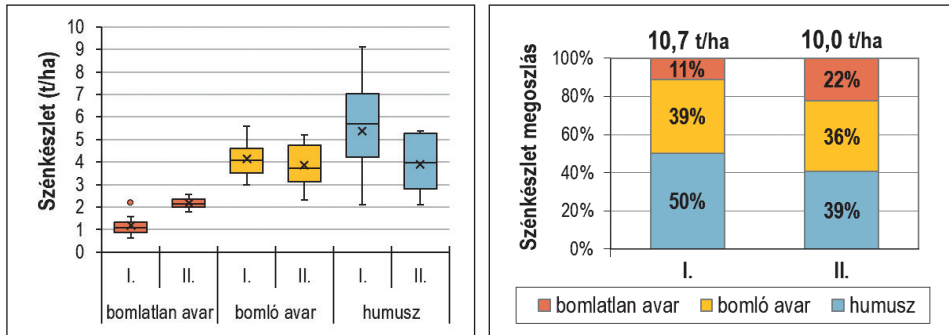
4. táblázat: A mintavételek közti 2007–2010 időszak és a 2007. év január–február–március hónapjainak átlaghőmérséklet- és csapadékösszeg-eltérései az 1971–2006 időszak átlagától  
(Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással és számítással)

Table 4: Differences in mean temperature and precipitation sum from January to March in the period 2007–2010 and in the year 2007, compared to the long-term period 1971–2006 (Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged and differences calculated)

|                              | Átlaghőmérséklet (°C) |       |       |            | Csapadék (mm) |       |       |            |
|------------------------------|-----------------------|-------|-------|------------|---------------|-------|-------|------------|
|                              | jan.                  | febr. | márc. | jan.–márc. | jan.          | febr. | márc. | jan.–márc. |
| 1. 1971–2006 átlag           | -0,72                 | 1,15  | 5,51  | 1,98       | 32,2          | 33,7  | 40,4  | 106,3      |
| 2. 1971–2006 szórás          | 2,19                  | 2,85  | 2,18  | 1,83       | 20,9          | 18,7  | 20,8  | 42,0       |
| 3. 1971–2006 átlagos eltérés | 1,76                  | 2,36  | 1,81  | 1,48       | 16,8          | 15,6  | 16,1  | 35,3       |
| 4. 2007–2010 átlag           | 0,47                  | 2,94  | 6,47  | 3,29       | 45,7          | 41,9  | 55,7  | 143,3      |
| 5. Eltérés 4.-1.             | 1,19                  | 1,80  | 0,96  | 1,31       | 13,5          | 8,2   | 15,3  | 37,0       |
| 6. 2007. év                  | 4,50                  | 5,12  | 7,34  | 5,65       | 36,5          | 54,4  | 76,8  | 167,7      |
| 7. Eltérés 6.-1.             | 5,22                  | 3,98  | 1,83  | 3,68       | 4,2           | 20,7  | 36,4  | 61,4       |

A 2013. évben lombhullás előtt (szeptember végén) és után (december elején) gyűjtött minták elemzéseiből kiindulva az őszi (október–november) időjárás avar- és humusztakaróra gyakorolt hatásainak feltárására volt lehetőség. Az eredmények azt mutatták, hogy a bomlatlan avar szénmennyisége a lombhullás után több, mint kétszerese a lombhullás előttinek, ami természetes, míg a bomló avar szénkészlete valamivel kevesebb, mint lombhullás előtt (6. ábra). A humusztakaró szén-

készletváltozása viszont már jelentősebb,  $-1,5$  t/ha ( $-27\%$ ) volt a lombhullás előtti mennyiséghez képest. A humusztakaróra kiszámított átlagos C/N arány a lombhullás előtti 14,5-ről lombhullás után 15,6-ra növekedett.



6. ábra: 2013-ban lombhullás előtt (I.) és után (II.) gyűjtött minták szénkészlete és annak megoszlása  
Figure 6: Carbon stocks (left) and percentages (right) of the separated layers, based on the samples collected before (I.) and after (II.) the autumn litterfall in 2013

Mivel a humusztakaróban az átlagos szénkoncentráció növekedett a lombhullás után, a készletcsökkenés a szervesanyag-tömeg fogyása miatt következett be, azaz intenzívebb lebomlás zajlott le. Ehhez kedvező feltételeket biztosított a 2013 október–novemberi hónapok időjárása, nagymértékben elősegítve a biológiai folyamatok működését. Ebben az időszakban ugyanis a sokéves (1971–2012) átlaghoz viszonyítva  $2,0$  °C-kal magasabb hőmérséklet (5. táblázat) és 60%-kal több csapadék (6. táblázat) jellemezte a vizsgált területeket, sőt ezt megelőzően a szeptemberi csapadékösszeg is meghaladta (+36%) a sokéves átlagot. Ez utóbbi körülmény figyelembevétele azért lehetséges, mert a humusztakaróban tárolódott nedvesség hatása még a következő hónapban is érvényesül.

5. táblázat: A 2013 őszi átlaghőmérsékletek eltérése a sokévi (1971–2012) átlagtól  
(Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással és számítással)

Table 5: Differences of the average temperatures in the autumn of 2013 compared to the long-term (1971–2012) average (Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged and differences calculated)

| Hónap/időszak                | 1971–2012<br>(°C) | 2013<br>(°C) | Eltérés<br>(°C) |
|------------------------------|-------------------|--------------|-----------------|
| Október                      | 10,0              | 12,2         | 2,2             |
| November                     | 4,6               | 6,5          | 1,9             |
| Ősz (szept.–okt.–nov.) átlag | 9,9               | 11,1         | 1,2             |
| Október–november átlag       | 7,3               | 9,3          | 2,0             |



6. táblázat: A 2013 őszi csapadékösszegek eltérése a sokévi (1971–2012) átlagtól  
(Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással és számítással)

Table 6: Differences of precipitation sums in the autumn of 2013 compared to the long-term (1971–2012) average  
(Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged and differences calculated)

| Hónap/időszak          | 1971–2012<br>(mm) | 2013<br>(mm) | Eltérés |            |
|------------------------|-------------------|--------------|---------|------------|
|                        |                   |              | (mm)    | (%)        |
| Szeptember             | 70                | 95           | 25      | <b>36</b>  |
| Október                | 59                | 20           | –39     | <b>–66</b> |
| November               | 60                | 171          | 111     | <b>185</b> |
| Ősz (szept.–okt.–nov.) | 189               | 286          | 97      | <b>51</b>  |
| Október–november       | 119               | 191          | 72      | <b>60</b>  |

## ÖSSZEFOGLALÁS

Zalai bükkös fatermési kísérleti parcellákban vizsgáltuk az avar- és a humusztakaró szervesanyag-mennyiségét és a szén- és nitrogénkészlet időbeli változását, valamint időjárási viszonyokkal való összefüggését 2006-ban, 2010-ben és 2013-ban gyűjtött minták alapján, három szint (bomlatlan avartakaró, bomló avartakaró, humusztakaró) elkülönítésével.

Az 1971–2020 időszak hőmérséklet és csapadék adatainak értékelésével megállapítottuk, hogy a trendek az átlaghőmérsékletek egyértelmű szignifikáns növekedését mutatják, míg a csapadék esetében tendencia nem figyelhető meg. A FAI értékek alapján a vizsgált területek a bükkös és gyertyános-tölgyes klíma átmenetéből egyre inkább a gyertyános-tölgyes klímába tolódnak, azaz a bükktermesztés számára kedvezőtlenebbé válnak.

A mért szervesanyag-tömeg a 2006-os minták esetében volt a legnagyobb, mindhárom szint esetében. A humusztakaró mennyisége 2010-re jelentősen lecsökkent (72 t/ha-ról 29 t/ha-ra), majd 2013-ra tovább fogyott (23 t/ha-ra). Ennek megfelelően csökkent a szénkészlet is, elsősorban 2006/2007 és 2010/2011 tele között. Hasonló változások tapasztalhatók a nitrogénkészlet esetében is. A C/N arány mérsékelt növekedést mutat az évek előrehaladtával, azonban értékei minden évben kedvező mull típusú humuszformára utalnak. A változások összefüggésbe hozhatók a január–márciusi időszakban megfigyelt enyhébb és csapadékosabb időjárással.

A 2013-ban lombhullás előtt és után gyűjtött minták eredményei alapján arra következtettünk, hogy rövidebb idő, akár két hónap alatt is mintegy 27%-os csökkenés jelentkezhet a humusztakaró szerves anyagának mennyiségében. A sokéves átlaghoz képest kimutatott magasabb októberi–novemberi átlaghőmérséklet és csapadékösszeg segíthette elő a lebomlási folyamatok intenzívebbé válását.

Összegzőként megállapítható, hogy a klímaváltozás által előidézett hőmérséklet-emelkedés változatlan vagy kevesebb csapadék esetén nem növeli a lebomlás intenzitását, ellenben, ha a melegebb időjárás az átlagosnál több csapadékkal párosul, akkor igen. Ennek megfelelően feltételezhető, hogy bizonyos körülmények mellett a humusz gyors lebomlása eredményeként az erdők időszakosan szénkibocsátóvá válhatnak. A klímaváltozással kapcsolatos prognózisok készítéséhez azonban további vizsgálatokra van szükség, más területekre és több évre kiterjesztve az időjárással való összefüggések elemzését.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen publikáció a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú projekt keretében a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A terepi munkákban, a minták osztályozásában és adatrögzítésben való közreműködésükért köszönetünket fejezzük ki Kocsisné Antal Judit, Balikó János, Czupy György, Takács Tamás és Osgyáni Anett kollégáknak, továbbá a laboratóriumi előkészítések és elemzések kivitelezéséért a SOE ERTI Sárvár Ökológiai Laboratórium munkatársainak.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Aerts R. 1997: Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79(3): 439–449. <https://doi.org/10.2307/3546886>
- Arbeitskreis für Bodensystematik 1985: Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland, Kurzfassung. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 44: 1–91.
- Berki I., Mórincz N., Rasztovits E. & Vig P. 2007: A bükk szárazság tolerancia határának meghatározása. In: Mátyás Cs. & Vig P. (eds.): *Erdő és klíma V. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron*, 213–228.
- Bidló A. 2014: Erdei ökoszisztémák szénkészletének klímfüggő változása. In: Mátyás Cs. (ed.): *Agrárklíma: Az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron*, 106–111.
- Bidló A. & Führer E. 2022: Szervesanyag (avar és humusz) készlet és lebomlása. In: Bartha D., Csóka Gy. & Mátyás Cs. (eds.): *Az erdészeti tudományok története Magyarországon. Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának tanulmánykötete I. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron*, 34–36.
- Birck O., Kiss R., Márkus L., Solymos R. & Tallós P. 1962: A hosszulejáratú erdőnevelési és fatermési kísérleti területek kitűzésének, felvételezésének és fenntartásának irányelvei. *Erdészeti Kutatások* 58(1–3): 217–259.
- Bondor A. 1988: 25 éves a magyar szervezett, hosszú lejárátú fatermési kutatás. *Erdészeti Lapok* 37(10): 446–453.
- Coûteaux M.M., Bottner P. & Berg B. 1995: Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends in Ecology & Evolution* 10(2): 63–66. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88978-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88978-8)
- Coûteaux M., Sarmiento L., Bottner P., Acevedo D. & Thiéry J. 2002: Decomposition of standard plant material along an altitudinal transect (65–3968 m) in the tropical Andes. *Soil Biology and Biochemistry* 34(1): 69–78. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00155-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00155-9)
- Czúcz B., Gálhidy L. & Mátyás Cs. 2013: A bükk és a kocsánytalan tölgy elterjedésének szárazsági határa. *Erdészettudományi Közlemények* 3(1): 39–53.
- Csóka Gy., Koltay A., Hirka A. & Janik G. 2009: Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyesek és bükkösök egészségi állapotára. *„Klíma-21” Füzetek* 57: 64–73.
- Davidson E.A. & Janssens I.A. 2006: Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440: 165–173. <https://doi.org/10.1038/nature04514>
- Ellenberg H. 1988: *Vegetation Ecology of Central Europe*. 4th Edition, Cambridge University Press, Cambridge.
- Fierer N., Allen A.S., Schimel J.P. & Holden P.A. 2003: Controls on microbial CO<sub>2</sub> production: a comparison of surface and subsurface soil horizons. *Global Change Biology* 9(9): 1322–1332. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00663.x>

- Führer E. 2004: Carbon fixing capacity of the forests in Hungary. *Hungarian Agricultural Research* 13(3): 4–7.
- Führer E. & Jagodics A. 2009: A klímajelző fafajú állományok szénkészlete. „Klíma-21” Füzetek 57: 43–55.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. „Klíma-21” Füzetek 61: 98–107.
- Führer E., Horváth L., Jagodics A., Machon A. & Szabados I. 2011: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás* 115(3): 205–216.
- Führer E. 2014: A talaj szervesanyag-tartalmának (avar, humusz, ásványi talaj) zonalitással összefüggő változása. In: Mátyás Cs. (ed.): *Agrárklíma: Az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 102–105.
- Führer E. 2018: A klímáértékelés erdészeti vonatkozásai. *Erdészettudományi Közlemények* 8(1): 27–42. <https://dx.doi.org/10.17164/EK.2018.002>
- Führer E., Heil B., Heilig D., Jagodics A. & Kovács G. 2022a: 48. Göcsej erdészeti táj. 48.2.1. Termőhelyi viszonyok. In: Führer E. (ed.): *Magyarország erdészeti tájai V. Nyugat-Dunántúl erdészeti tájcsoporthoz*. Agrárminisztérium Nemzeti Földügyi Központ, Budapest, 554–558.
- Führer E., Heil B., Heilig D., Jagodics A. & Kovács G. 2022b: 52. Kelet-zalai-dombság erdészeti táj. 52.2.1. Termőhelyi viszonyok. In: Führer E. (ed.): *Magyarország erdészeti tájai VI. Dél-Dunántúl erdészeti tájcsoporthoz*. Agrárminisztérium Nemzeti Földügyi Központ, Budapest, 291–305.
- Gálos B. & Vig P. 2014: Éghajlati tendenciák a Kárpát-medencében és Zala megyében. In: Mátyás Cs. (ed.): *Agrárklíma: Az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 7–16.
- Gálos B., Führer E., Czímber K., Gulyás K., Bidló A., Hänsler A. et al. 2015: Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County. *Időjárás* 119(4): 425–441.
- Gere G. & Hargitai L. 1971: Az avar humifikációjának vizsgálata egy cseres-tölgyes erdőben. *Erdészeti Kutatások* 67(1): 21–28.
- Giardina C.P. & Ryan M.G. 2000: Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature. *Nature* 404(6780): 858–861. <https://doi.org/10.1038/35009076>
- Góber Z. 2005: A Zalaerdő Rt. kezelésében lévő területeken 2004-ben végbement erdőpusztulás értékelése. *Erdészeti Lapok* 140(5): 156–159.
- Halász G. (ed.) 2006: *Magyarország erdészeti tájai*. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest.
- Hansen K., Vesterdahl L., Schmidt I.K., Gundersen P., Sevel L., Bastrup-Birk A. et al. 2009: Litterfall and nutrient return in five tree species in a common garden experiment. *Forest Ecology and Management* 257(10): 2133–2144. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.021>
- HungaroMet: Meteorológiai Adattár. Homogenizált, rácspontokra interpolált napi éghajlati adatsorok. HungaroMet Nonprofit Zrt., Budapest. [https://odp.met.hu/climate/homogenized\\_data/gridded\\_data\\_series/daily\\_data\\_series/](https://odp.met.hu/climate/homogenized_data/gridded_data_series/daily_data_series/) (Letöltés időpontja: 2023.07.03.)
- Jagodics A. & Führer E. 2023: Klímaváltozás hatása az erdő avar- és humuszrétegének szervesanyag mennyiségére és minőségére zalai bükkösök példáján. In: Koncz I. & Szova I. (eds.): *Húsz éve az európai nemzeti tudományosság és a fiatal kutatók szolgálatában. A PEME XXVI. Nemzetközi PhD-Konferenciájának előadásai* (Budapest, Miskolc, 2023. november). Professzorok az Európai Magyarországiért Egyesület, Budapest–Miskolc, 81–91.
- Jahn G. 1991: Temperate deciduous forests of Europe. In: Röhrig E. & Ulrich B. (eds.): *Ecosystems of the world 7. Temperate deciduous forests*. Elsevier, London, 377–502.
- Járó Z. 1958: Alommennyiségek a magyar erdők egyes típusaiban. *Erdészettudományi Közlemények* 1: 151–162.
- Járó Z. 1959: Az erdei alom. *Erdészeti Lapok* 94(8): 302–307.

- Járó Z. 1963: A lomb bomlása különböző állományok alatt. Erdészeti Kutatások 59(1–2): 95–104.
- Járó Z. & Mendlik G. 1986: A bükk általános és erdőművelési tulajdonságai. In: Bondor A. (ed.): A bükk. Akadémiai Kiadó, Budapest, 15–30.
- Járó Z. 1990: A bükkösök szerves- és tápanyagforgalma. Erdészeti Kutatások 80–81: 83–98.
- Knorr W., Prentice I.C., House J.I. & Holland E.A. 2005: Long-term sensitivity of soil carbon turnover to warming. Nature 433(7023): 298–301. <https://doi.org/10.1038/nature03226>
- Kollár T., Veperdi G. & Rédei K. 2018: A fatermési, erdőnevelési és hálózati tartamkísérletek múltja, jelene és jövője. Erdészeti Lapok 153(10): 306–310.
- Kollár T. & Borovics A. 2021: A magyarországi hosszú lejáratú erdészeti tartamkísérleti hálózat fenntartásának korszerű irányelvei, adatfeldolgozási módszerei és legfontosabb eredményei. Erdészettudományi Közlemények 11(2): 95–114. <https://dx.doi.org/10.17164/EK.2021.006>
- Kollár T. 2022: Bükk (*Fagus sylvatica*) állományok fatermési függvénye és táblája az ERTI tartamkísérleti hálózata adatbázisa alapján. Erdészettudományi Közlemények 12(1): 5–29. <https://doi.org/10.17164/EK.2022.01>
- Matala J., Kellomäki S. & Nuutinen T. 2008: Litterfall in relation to volume growth of trees: analysis based on literature. Scandinavian Journal of Forest Research 23(3): 194–202. <https://doi.org/10.1080/02827580802036176>
- Mátyás Cs., Führer E., Berki I., Csóka Gy., Drüsler Á., Lakatos F. et al. 2010: Erdők a szárazsági határon. „Klíma-21” Füzetek 61: 84–97.
- McGill W.B. 1996: Review and classification of ten soil organic matter (SOM) models. In: Powlson D.S., Smith P. & Smith J.U. (eds.): Evaluation of organic matter models using existing, long-term datasets. NATO ASI Series, Vol. 38. Springer, Berlin, Heidelberg, 111–132. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3_9)
- Melillo J.M., Steudler P.A., Aber J.D., Newkirk K., Lux H., Bowles F.P. et al. 2002: Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. Science 298(5601): 2173–2176. <https://doi.org/10.1126/science.1074153>
- Mendlik G. & Bircik O. 1968: Bükköseink fatermési vizsgálata. Erdészeti Kutatások 64(1–3): 31–49.
- Molnár M. & Lakatos F. 2009: Bükkpusztulás Zala megyében. „Klíma-21” Füzetek 57: 74–82.
- Pántos Gy., Pántosné Derimova T. & Vahaye G.A. 1981: Erdei ökoszisztémák avartakarójának száraz- és tápanyagtartalma, valamint átalakulása. Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények 1981(1): 91–106.
- Portillo-Estrada M., Pihlatie M., Korhonen J.F.J., Levula J., Frumau A.K.F., Ibrom A. et al. 2016: Climatic controls on leaf litter decomposition across European forests and grasslands revealed by reciprocal litter transplantation experiments. Biogeosciences 13(5): 1621–1633. <https://doi.org/10.5194/bg-13-1621-2016>
- Santonja M., Fernandez C., Proffit M., Gers Ch., Gauquelin Th., Reiter I.M. et al. 2017: Plant litter mixture partly mitigates the negative effects of extended drought on soil biota and litter decomposition in a Mediterranean oak forest. Journal of Ecology 105(3): 801–815. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12711>
- Sponagel H., Grottenhaler W., Hartmann K.-J., Hartwich R., Janetzko P., Joisten H. et al. 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage. Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Vanmechelen L., Groenemans R. & Van Ranst E. 1997: Forest soil condition in Europe: Results of a large-scale soil survey. Technical Report. European Commission, UN/ECE, Ministry of the Flemish Community, Brussels, Geneva.

Érkezett: 2024. szeptember 28.  
Közlésre elfogadva: 2025. január 08.

# A TÁPANYAG-UTÁNPÓTLÁS HATÁSA AZ AKÁC (*ROBINIA PSEUDOACACIA* L.) LEVÉLBEN TÖRTÉNŐ ELEMAKKUMULÁCIÓJÁRA: EGY TÁPIÓSZELÉN LÉTESÜLT KÍSÉRLET EREDMÉNYEI

Benke Attila, Toldi Valter, Süle Tamás és Bereczki Katalin

*Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet*

## Kivonat

A gyakran marginális környezeti feltételek között folytatott ültetvényszerű fatermesztés alapja a korlátozott adottságokat lehetőleg jobban hasznosítani képes fajták alkalmazása. Kutatásunk során ezért gyenge homoki termőhelyen létesített kísérleti ipari faültetvényben vizsgáltuk különböző akácklónok tápanyag-hasznosítási képességét, levélzetük tápelemtartalma alapján. A kísérletben négy kísérleti klón (OBE01, OBE34, OBE53, OBE69) vizsgálata folyt különböző tápanyag-utánpótlás kezelések mellett. Az egyes klónok elemhasznosítás képességét a levelek nitrogén-, foszfor-, kálium-, vas-, mangán-, réz-, cink- és nikkeltartalma alapján értékeltük, a kezelések levél elemtartalomra gyakorolt hatását pedig módosított z-érték számításával elemeztük. Bár klónonként és elemenként változó mértékben, de a tisztán műtrágya kezelés jellemzően negatív hatással volt az akácklónok makro- és mikroelem felvételére (13 szignifikánsan negatív és 5 pozitív kapcsolat), szemben a szerves trágyát is tartalmazó kezelésekkel, melyek hatása döntően pozitív volt (12 szignifikánsan negatív és 27 pozitív kapcsolat). A klónok közül az OBE53-as elemfelvétele mutatta a legszorosabb kapcsolatot a tápanyag-utánpótlással.

**Kulcsszavak:** fehér akác, tápanyag-utánpótlás, z-érték, makro- és mikroelem, tápanyag-hasznosítás

## EFFECTS OF FERTILIZATION ON NUTRIENT ACCUMULATION IN BLACK LOCUST (*ROBINIA PSEUDOACACIA* L.) LEAVES: RESULTS OF AN EXPERIMENT IN TÁPIÓSZELE

### Abstract

The basis of plantation forestry under often marginal environmental conditions is the use of varieties that can utilize the limited ecological conditions. In our research, the nutrient utilization capacity of different black locust clones (OBE01, OBE34, OBE53, OBE69) was investigated based on the nutrient content of their foliage. In the experimental plantation, which was established in poor sandy soil, different nutrient supplementation treatments were applied. Element utilization was evaluated based on leaf nitrogen, phosphorus, potassium, iron, manganese, copper, zinc and nickel contents, while the effect of each treatment on leaf element content was analyzed by calculating modified z-scores. Generally, the pure chemical fertilizer treatment had a predominantly negative effect on the macro- and microelement uptake of black locust clones (13 significantly negative and five positive relationships), compared to

the treatments including organic fertilizer, which showed a predominantly positive effect (12 significantly negative and 27 positive relationships). Among the clones, the element uptake of OBE53 showed the strongest relationship with fertilizer applications.

**Keywords:** black locus, fertilization, z-score, macro- and micronutrients, nutrient utilization

## BEVEZETÉS

A fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) mind erdőállományai területfoglalása, mind élőfa-készlete tekintetében a hazai erdőgazdálkodás legjelentősebb fafaja; e tendencia várhatóan a jövőben sem fog jelentősen változni, hiszen állományainak összterülete a középhosszú távon tervezett erdőtelepítések adatait figyelembe véve várhatóan több ezer hektárral fog növekedni az elkövetkező évtizedekben (Nemzeti Földügyi Központ Erdészeti Főosztály 2023, Lett et al. 2020). A fafaj a második világháborút követő erdőtelepítési programokban is kiemelt szerepet kapott; az 1951 és 2019 közötti időszakban csak a nemes nyárok területének növekedése haladta meg az akácét (219, illetve 167 ezer hektár; Lett 2021). Népszerűségének oka többértű: gyorsan növő fafajról van szó, fája tartós és széleskörűen hasznosítható, képes a gyenge minőségű termőhelyek hasznosítására is, visszaszerző képessége pedig kiváló, ami miatt állományainak vegetatív felújítása könnyen kivitelezhető (Bartha et al. 2008). Az akáctelepítések ösztönzésének másik fontos eleme az igénybe vehető állami támogatások voltak, amelyek az utóbbi időszakban a hagyományos erdőállományok mellett a legfeljebb 20 éves vágásfordulóval kezelhető, kifejezetten faipari alapanyag termelését célzó ipari célú fás szárú ültetvények létrehozására is kiterjedtek (VP5- 8.1.1-16 kódszámú pályázati felhívás; 135/2017. (VI. 9.) Kormányrendelet). Eme, nem erdőként nyilvántartott ültetvénytípus esetében, nevéből is adódóan, az elsődleges termelési cél az ipari feldolgozásra alkalmas faanyag termelése rövid termelési ciklus alatt, amihez gyors növekedésű, megfelelő törzsalakot fejlesztő, és nem utolsó sorban, termőhelyálló szelektált fajták alkalmazása ajánlott. A fenotípusos előnyöket mutató akácegyedek szelektálása már az 1930-as években elkezdődött Magyarországon (Keresztesi 1983), a kifejezetten ipari célú faültetvények telepítésére alkalmas klónok nemesítése pedig jelenleg is folyamatosan zajlik (Ábri et al. 2022, Németh et al. 2022).

A levélszövet tápelemtartalma közeli rokon fajok között, és egy faj eltérő földrajzi származásai között is olykor jelentős különbséget mutat, ami a tápelemek levélakkumulációjának erős genetikai meghatározottságát feltételezi (Houdegbe et al. 2022, Tinkov et al. 2016). Emellett, ugyanakkor, termőhelyi (elsősorban talajtani) és klimatikus tényezők is befolyásolják a növényi levelek elemtartalmát (Watanabe et al. 2007). Előbbi jelentőségét támasztják alá azok a megfigyelések, amelyeket tápanyag-utánpótlási kísérletekben tettek kutatók; a kijutott többlet tápanyagok kimutatható tápelemtartalom változásokat indukáltak a vizsgált növények levélszövetében (Bedbabis et al. 2010, Ma et al. 2013, Wang et al. 2022, Yan et al. 2019, Yang, 2018). A talajban megtalálható többlet tápanyagok növényi szövetekbe történő beépítése azonban az egyszerű fiziológiai folyamaton túl fontos élettani célokat is szolgálhat; a növények abiotikus stressztényezőkkel szembeni tűrőképességét megnövelhetik egyes tápelemek levelekben történő felhalmozása (Boshkovski et al. 2020, Chen et al. 2023, Z. Wang et al. 2015). Biotikus hatások is előidézhetik emellett egyes elemek levélszövetben való megnövekedett jelenlétét, ami a stresszválasz reakciókban részt



vevő, makro- és mikroelemeket is tartalmazó enzimek megnövekedett aktivitásából is eredhet (Hančević et al. 2018). Összességében feltételezhető, hogy azok a növényfajok, -fajták, melyek levélszövetükben azonos környezeti körülmények között magasabb szintű makro- és mikroelem akkumulációra képesek, ellenállóbbak lesznek egyes környezeti stressztényezőkkel szemben, így alkalmazásukkal ökológiailag stabilabb erdőállományok, faültetvények hozhatók létre, és magasabb terméshozam érhető el.

Jelen kutatásunk célja négy szelektált akác klón levélben történő elemakkumulációjának felmérése volt egy gyenge homoki termőhelyre telepített kísérleti ipari célú faültetvényben. A kísérletben komplex műtrágyával, szerves trágyával, és kombinált szerves-szerves trágyával kezelt parcellákban is vizsgáltuk a levélszövetben történő elemfelhalmozódást, így a tápanyag-utánpótlás típusok hatásának értékelésére is lehetőségünk nyílt a kutatás során. Eredményeinkkel az akác ipari célú faültetvények termesztés-fejlesztéséhez szeretnénk hozzájárulni, a termőhelyálló akácfafták fiziológiai alapú szelekciójának elősegítése révén.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

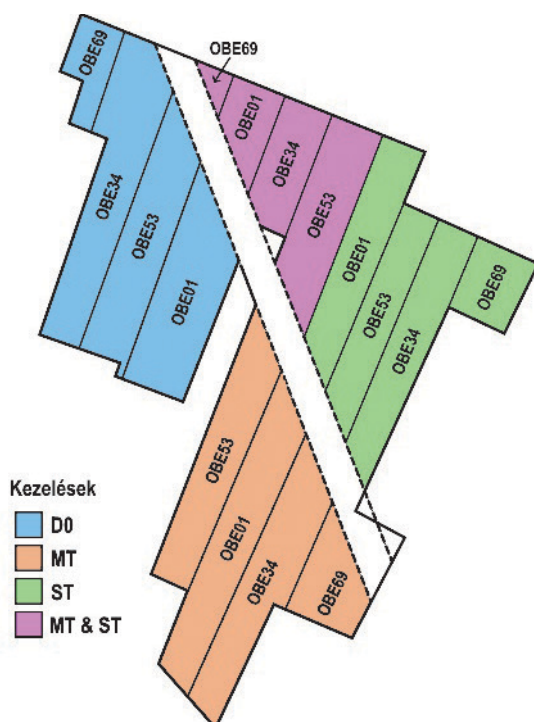
### Levélminta-gyűjtés

A tápanyag-utánpótlás vizsgálatoknak helyet adó kísérleti akác ipari célú faültetvény Tápiószelén létesült 2018 tavaszán (É 47°18'21", K 19°53'11"). A kísérlet területének termőhelytípus változata a következő: erdőssztyepp klímába tartozó, többletvízhatástól független karbonátos humuszos homoktalaj, igen sekély termőréteggel és homok fizikai talajféleséggel; a három talajszelvény vizsgálata alapján készített termőhelyfeltárás eredményei szerint a termőréteg humusztartalma 0,73 és 1,14%, mésztartalma pedig 3,35 és 7,94% között változott. Az 5,64 ha kiterjedésű, ismétlések nélkül kialakított két tényezős (fajta × tápanyag-utánpótlás kezelések) kísérlet (1. ábra) kezelései az alábbiak szerint alakultak:

- Fajta-kezelés: *Robinia pseudoacacia* cv. OBE01, OBE34, OBE53 és OBE69 (nemesítő és fajtatulajdonos: Silvanus Csoport Kft.)
- Tápanyagutánpótlás-kezelések: D0: nullkezelés (kontrol parcella); MT: tisztán műtrágya kezelés 27%-os ammónium-nitrát és 14:7:21 arányú NPK műtrágya alkalmazásával, 2019-ben és 2020-ban a vegetációs időszakban több alkalommal, összesen 354/90/273 kg NPK hatóanyagot kijuttatva hektáronként; ST: tisztán szerves trágya kijuttatás 100 tonna/hektár dózisban, az ültetvény telepítését megelőzően; MT & ST: kombinált szerves és szerves trágya kezelés, a fent említett dózisok kijuttatásával. A műtrágya kezelések területre történő kijuttatása a következő időpontokban történt: 2019. április 30., június 4. és július 30., illetve 2020. június 5. és július 10.

A kísérletben 2018 és 2020 között évente egy alkalommal gyűjtöttünk levélmintákat a nyári-kora őszi időszakban az elemakkumuláció vizsgálatok céljára, a következő metodikát követve: fajta-tápanyag kezelés-kombinációként 3 × 5 növényről 3-3 kifejtett és ép összetett levelet gyűjtöttünk, a korona alsó harmadából (tekintettel a fák fiatal korára, és az állomány még harmadik évben sem teljes záródására, a gyűjtési magasságtól függetlenül a levelek jellemzően fénylevél típusúnak voltak tekinthetők). Az 5-ös csoportok között törekedtünk megfelelő, parcellánként változó, de legalább

10 méteres távolságot tartani, és a mintavételi helyeket a parcella hossz tengelye mentén eltoltni kijelölni annak érdekében, hogy az adott kezelés-kombinációk tápanyag-akkumulációs hatását minél jobban reprezentálják a minták. A mintagyűjtésekre 2018. szeptember 5-én, 2019. augusztus 15-én és 2020. június 30-án került sor. 2018-ban és 2019-ban az egyes fákrol gyűjtött levelek külön-külön papírzacskóba kerültek, míg 2020-ban az 5-5 fáról gyűjtött leveleket egy közös mintavételi zacskóba helyeztük (kompozit minták). Megjegyzendő, hogy a 2020-as évben végzett mintavételezésünk technikai okokból az utolsó műtrágyakezelést megelőzte, ezért az elemakkumulációs vizsgálatok eredményei összesen négy alkalommal kijuttatott, mintegy 260/65/200 kg/ha hatóanyag hatására vonatkoznak.



1. ábra: A kísérleti terület sematikus rajza (jelmagyarázat: D0: nullkezelés; MT: tisztán műtrágya kezelés;

ST: tisztán szerves trágya kezelés; MT & ST: együttes szervetlen és szerves trágya kezelés)

Figure 1: Schematic map of the experimental area (legend: D0 – zero treatment (control); MT – inorganic fertilizer treatment; ST – organic fertilizer treatment; MT & ST – combined treatment of inorganic and organic fertilizer)

## Elemvizsgálatok

A begyűjtött levélmintákat a laboratóriumba szállítást követően 40°C-on szárítottuk, majd daráltuk és homogenizáltuk. Az elemtartalom-vizsgálatokat (kálium, réz, cink, mangán, vas, nikkel) salétromsavas mikrohullámú roncsolást követően (Milestone, Italy) Agilent 5110 ICP-OES műszerrel (Agilent Technologies, VIC, Australia) végeztük. A levélminták összes foszfortartalmát UV-1601 spektrofotométerrel detektáltuk (Shimadzu, Japan). Az össznitrogén-tartalmat száraz

égetéses eljárással, CN628 elemanalizátor (Leco, MI, USA) készülékkel határoztuk meg. Az elemvizsgálatokat az érvényben lévő hazai és nemzetközi szabványok előírásai alapján végeztük.

### Statisztikai értékelés

A laboratóriumi vizsgálatok során nyert elemtartalom adatok statisztikai értékelését R programkörnyezetben végeztük (R Core Team 2022). Az elemakkumulációs adatok átlag- és szórásértékeinek számításához a 'dplyr' csomagot használtuk (Wickham et al. 2023). Az egyes kezelés-kombinációk tápanyagfelvételre gyakorolt hatásának elemzéséhez elemenként és kezelés-kombinációnként módosított z-értéket számítottunk, az alábbi képlet szerint:

$$z_{ki} = \frac{x_{ki} - A_0}{\sigma_k}$$

ahol  $x_{ki}$  a k kezelés-kombináció i-dik mérési eredménye,  $A_0$  az adott kezelés-kombináció nullkezelésének számtani közepe, míg  $\sigma_k$  a k kezelés-kombináció mérési eredményeinek a szórása. A módosított z-érték ennek megfelelően pozitív értéket vesz fel abban az esetben, ha az adott mérési eredmény értéke meghaladja a kontrolkezelés átlagát, és negatív, ha alacsonyabb annál. Illetve, minél nagyobb a kezelés-kombináció mérési eredményeinek szórása, a z-érték annál jobban közelít a nullához.

A z-értékek kezelés-kombinációk közötti eltérésének mértékét szignifikanciavizsgálattal ellenőriztük elemenként. Az adathalmaz eloszlásának vizsgálatához Shapiro-Wilk tesztet (Shapiro & Wilk 1965), szignifikanciavizsgálatához pedig Kruskal-Wallis próbát végeztünk (Kruskal & Wallis 1952); mindkét elemzéshez a 'stats' csomag 4.2.0.-es verzióját használtuk (R Core Team 2022). Ugyancsak a programcsomagot alkalmaztuk a kezeléskombinációk (z-érték) páronkénti összevetése során használt Wilcoxon-próba (Wilcoxon 1945) elvégzéséhez. Az egyes akáclónok elemakkumulációs mintázatának, illetve a különböző tápanyagkezelések elemfelvételre gyakorolt hatásának elemzéséhez főkomponens analízist (Pearson 1901) végeztünk a 'FactoMiner' csomag alkalmazásával (Lê et al. 2008). A vizsgálati eredmények képi megjelenítéséhez a 'ggplot2' (Wickham 2016) és a 'ComplexHeatmap' (Gu et al. 2016) csomagokat, az elkészített ábrák utószerkesztéséhez pedig a Paint.net programot használtuk (Brewster 2023).

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Az elemtartalom-vizsgálat eredményei alapján a vizsgált akáclónok leveleiben a makroelemek, így a nitrogén, a foszfor és a kálium mutatták a legmagasabb értékeket (1. táblázat). Átlagos mennyiségük 40,07 (nitrogén), 12,33 (kálium), illetve 2,71 mg/g (foszfor) értéknek felelt meg. A vizsgált mikroelemek esetében, amint az várható volt, több nagyságrenddel alacsonyabb értékeket mértünk. Az egyes elemek levelekben mért átlagos mennyisége a következő volt:  $9,44 \times 10^{-3}$  mg/kg (réz),  $8,31 \times 10^{-2}$  mg/kg (cink),  $6,06 \times 10^{-2}$  mg/kg (mangán),  $7,00 \times 10^{-2}$  mg/kg (vas), illetve  $4,31 \times 10^{-3}$  mg/kg (nikkel). A mikroelemek közül tehát nagyobb mennyiségben a cink, a vas és a mangán ( $10^{-2}$  mg/kg), míg kisebb mennyiségben a réz és a nikkel fordult elő a levelekben ( $10^{-3}$  mg/kg). Eme értékek,

legalábbis nagyságrendjüket tekintve, jórészt megfelelnek egyes szárazföldi növény levelében mért elemtartalom értékeknek (Dehelean et al. 2019, Li et al. 2019, Oliveira et al. 2010), ami, vélhetően, a vizsgált növényi levélszövetek hasonló felépítésének, illetve a bennük lejátszódó élettani folyamatok hasonlóságának köszönhető.

Az egyes elemek hasznosításának z-érték alapú összehasonlítása során mind a fajták, mind a tápanyagutánpótlás-kezelések esetében figyeltünk meg különbségeket, bár elemenként változó mértékben (2. ábra). Az egyes fajták esetében a különbségek elsősorban a tisztán műtrágya kezelések hatásában nyilvánultak meg; e kezelés az OBE53–OBE01–OBE34–OBE69 sorrendben egyre erőteljesebb negatív hatással volt egyes elemek levelekben való jelenlétére. Példaként, amíg az OBE53 esetében az MT kezelés csak a levelek káliumtartalmát befolyásolta negatívan, addig az OBE69 esetében ez a kapcsolat a foszfor, a kálium, a réz, a cink és a vas esetében is kimutatható volt. A tisztán műtrágya kezelés elemfelvételre gyakorolt szignifikáns pozitív hatását csak nitrogén (OBE01, OBE53), a vas (OBE01), a mangán (OBE69) és a nikkel (OBE69) esetében figyeltük meg.

1. táblázat: Az egyes akácklónok kezelésenként mért átlagos elemakkumulációja (jelmagyarázat: D0 – nullkezelés (kontrol); MT – műtrágya kezelés; ST – szerves trágya kezelés; MT & ST – szervetlen és szerves trágya kombinált kezelés)

Table 1: The average element accumulation of black locust clones per treatment (legend: D0 - zero treatment (control); MT – inorganic fertilizer treatment; ST – organic fertilizer treatment; MT & ST - combined treatment of inorganic and organic fertilizer)

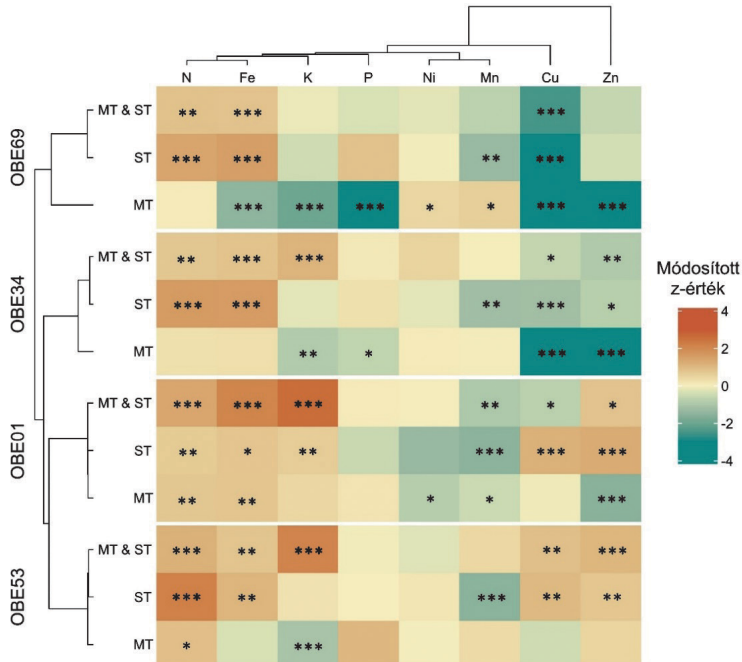
| Fajta | Kezelés | N              | P             | K             | Cu            | Zn              | Mn              | Fe              | Ni            |
|-------|---------|----------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
|       |         | (%)            | (mg/g)        | (mg/g)        | (mg/kg)       | (mg/g)          | (mg/g)          | (mg/g)          | (mg/kg)       |
| OBE01 | D0      | 3,52<br>±0,52  | 2,61<br>±0,65 | 10,9<br>±2,83 | 8,46<br>±2,52 | 0,045<br>±0,043 | 0,071<br>±0,015 | 0,058<br>±0,017 | 2,87<br>±7,36 |
|       | MT      | 3,74<br>±0,57  | 2,65<br>±0,74 | 11,7<br>±2,96 | 8,36<br>±2,27 | 0,025<br>±0,012 | 0,066<br>±0,018 | 0,066<br>±0,017 | 2,35<br>±3,92 |
|       | ST      | 3,79<br>±0,38  | 2,62<br>±0,48 | 12,7<br>±2,45 | 12,0<br>±3,08 | 0,213<br>±0,246 | 0,058<br>±0,012 | 0,066<br>±0,013 | 8,07<br>±11,0 |
|       | MT & ST | 3,90<br>±0,520 | 2,75<br>±0,34 | 14<br>±1,72   | 7,57<br>±1,50 | 0,047<br>±0,049 | 0,065<br>±0,014 | 0,083<br>±0,015 | 2,75<br>±2,83 |
| OBE34 | D0      | 3,79<br>±0,47  | 2,67<br>±0,53 | 13,6<br>±2,81 | 13,0<br>±4,2  | 0,094<br>±0,092 | 0,068<br>±0,018 | 0,063<br>±0,016 | 1,29<br>±1,03 |
|       | MT      | 3,92<br>±0,62  | 2,42<br>±0,40 | 12,1<br>±2,09 | 8,04<br>±2,45 | 0,015<br>±0,010 | 0,070<br>±0,023 | 0,067<br>±0,012 | 2,17<br>±1,76 |
|       | ST      | 4,32<br>±0,49  | 2,88<br>±0,56 | 13,2<br>±2,09 | 10,5<br>±2,09 | 0,050<br>±0,043 | 0,066<br>±0,024 | 0,077<br>±0,010 | 2,81<br>±3,59 |
|       | MT & ST | 4,05<br>±0,53  | 2,87<br>±0,42 | 15,7<br>±2,30 | 11,6<br>±5,34 | 0,069<br>±0,082 | 0,069<br>±0,027 | 0,082<br>±0,024 | 3,50<br>±3,87 |
| OBE53 | D0      | 4,05<br>±0,54  | 3,17<br>±0,62 | 12,5<br>±2,92 | 7,94<br>±1,30 | 0,065<br>±0,062 | 0,063<br>±0,015 | 0,064<br>±0,013 | 2,39<br>±2,09 |
|       | MT      | 4,25<br>±0,55  | 3,35<br>±0,47 | 11,1<br>±3,21 | 7,47<br>±1,13 | 0,046<br>±0,080 | 0,070<br>±0,019 | 0,060<br>±0,017 | 17,6<br>±56,5 |

Az 1. táblázat folytatása / Table 1: continued

| Fajta | Kezelés | N             | P             | K             | Cu            | Zn              | Mn              | Fe              | Ni            |
|-------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
|       |         | (%)           | (mg/g)        | (mg/g)        | (mg/kg)       | (mg/g)          | (mg/g)          | (mg/g)          | (mg/kg)       |
|       | ST      | 4,88<br>±0,47 | 3,11<br>±0,28 | 12,7<br>±2,19 | 9,28<br>±1,32 | 0,116<br>±0,260 | 0,052<br>±0,012 | 0,074<br>±0,011 | 5,47<br>±6,05 |
|       | MT & ST | 4,43<br>±0,49 | 3,25<br>±0,37 | 14,7<br>±1,86 | 10,1<br>±2,27 | 0,264<br>±0,388 | 0,072<br>±0,021 | 0,100<br>±0,051 | 7,76<br>±11,2 |
| OBE69 | D0      | 3,68<br>±0,45 | 2,44<br>±0,74 | 11,4<br>±1,99 | 12,4<br>±4,84 | 0,120<br>±0,114 | 0,063<br>±0,022 | 0,073<br>±0,046 | 1,46<br>±1,09 |
|       | MT      | 3,71<br>±0,43 | 1,70<br>±0,36 | 8,4<br>±2,45  | 7,21<br>±1,76 | 0,017<br>±0,006 | 0,071<br>±0,023 | 0,062<br>±0,011 | 3,35<br>±3,13 |
|       | ST      | 4,13<br>±0,40 | 2,50<br>±0,36 | 11,2<br>±2,40 | 8,39<br>±2,55 | 0,100<br>±0,130 | 0,053<br>±0,010 | 0,092<br>±0,020 | 3,59<br>±4,72 |
|       | MT & ST | 3,95<br>±0,43 | 2,35<br>±0,37 | 11,3<br>±1,65 | 8,71<br>±1,67 | 0,115<br>±0,113 | 0,058<br>±0,013 | 0,094<br>±0,026 | 1,46<br>±1,27 |

A tisztán műtrágya kezelésekkel szemben a tisztán szervesztrágya, illetve a kombinált szervesztrágya kezelések határozottabb hatással voltak egyes elemek akáclevelekben való jelenlétére. Genotípustól függetlenül e kezelések szignifikánsan megnövelték a levelek nitrogén- és vastartalmát, a kombinált kezelés pedig jelentős hatással volt a káliumtartalomra is az OBE01, OBE34 és OBE53 klónok esetében. Említésre méltó megfigyelés, hogy egyetlen tápanyag-utánpótlás kezelés sem volt pozitív hatással az akáclevelek foszfortartalmára. A réz esetében a tápanyag-utánpótlások hatása erős függést mutatott a klónokkal: az OBE34 és OBE69 klónok esetében mindhárom kezelés szignifikáns réztartalom csökkenést okozott a kontrolterülethez képest. Ezzel szemben az OBE53 klónnál a szervesztrágyát is tartalmazó kezelések statisztikailag igazolható módon megnövelték az akáclevelek réztartalmát. Az OBE01 klón e tekintetben nem mutatott konzekvens viselkedést: a kombinált kezelés szignifikánsan csökkentette, a szervesztrágya kezelés szignifikánsan megnövelte a réz jelenlétét a levélszövetekben. A cink esetében szignifikáns pozitív kapcsolat csak a szervesztrágyát is tartalmazó kezelések esetében került kimutatásra, és csak az OBE01 és OBE53-as klónok esetében. A tisztán műtrágyakezelés ellenben erős negatív hatással volt a levelek cinktartalmára három klón esetében is (OBE01, OBE34, OBE53). A levelek mangántartalmát a tisztán szervesztrágya kezelés mind a négy klón esetében csökkentette, az OBE01-es klón esetében pedig a másik két kezelés is negatív hatást gyakorolt a mangán jelenlétére a levelekben. A foszfor mellett a nikkelt mutatta a leggyengébb kapcsolatot a tápanyag-utánpótlás kezelésekkel: az OBE69 esetében a tisztán műtrágya kezelés szignifikánsan megnövelte, az OBE01 esetében pedig ugyanez a kezelés csökkentette a levelek nikkeltartalmát.

A módosított z-értékek főkomponens analízisének eredményeit a 3. és 4. ábrák, valamint a 2. táblázat szemlélteti.

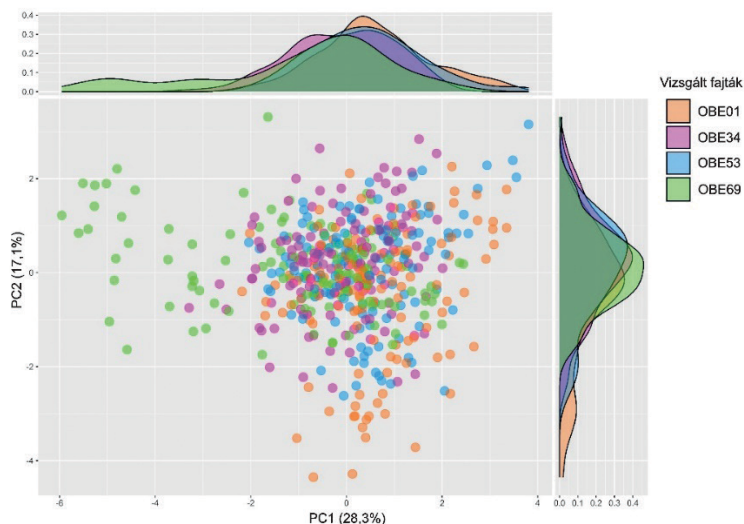


2. ábra: Az egyes tápanyag-utánpótlás-kezelések hatása az akácklónok leveleinek makro- és mikroelemek tartalmára, a kontrol kezelésekhez viszonyítva (megjegyzés: az összehasonlítás módosított z-érték alapon történt; a csillagokkal jelzett szignifikancia szintek a kontrol kezeléshez viszonyított eltérés mértékére utalnak: üres cella – nincs szignifikáns különbség, \* –  $0,01 < p \leq 0,05$ , \*\* –  $0,001 < p \leq 0,01$ , \*\*\* –  $p \leq 0,001$ ; jelmagyarázat: D0 – nullkezelés (kontrol); MT – műtrágya kezelés; ST – szervesztrágya kezelés; MT & ST – szervesztrágya és szervesztrágya kombinált kezelés)

Figure 2: Effect of nutrient treatments on the macro- and micronutrient content of black locust clone leaves compared to control treatments (note: comparisons are made on a modified z-score basis; asterisks indicate the extent of difference compared to control treatment: empty cell - no significant difference, \* –  $0.01 < p \leq 0.05$ , \*\* –  $0.001 < p \leq 0.01$ , \*\*\* –  $p \leq 0.001$ ; legend: D0 – zero treatment (control); MT – inorganic fertilizer treatment; ST – organic fertilizer treatment; MT & ST – combined treatment of inorganic and fertilizer fertilizer)

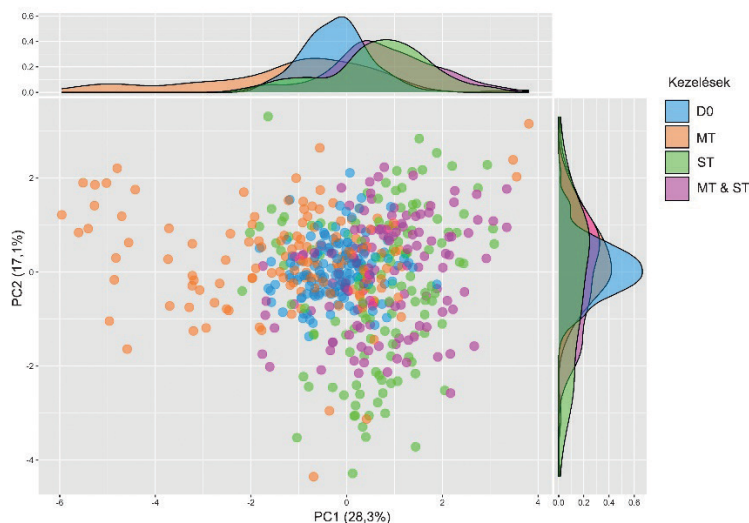
A 3. ábra eloszlásgörbéi alapján megállapítható, hogy a vizsgált akácklónok leveleik tápelem-tartalom mintázata alapján (a nyolc elemet együttesen értékelve) csak kis mértékben térnek el egymástól, és ez az elkülönülés is csak az első főkomponens értékeire vezethető vissza. Az OBE01, OBE34 és OBE53-as klónok pontfelhőinek átfedése jelentős a PC1 tengely mentén, egyedül az OBE69-es klón pontthalmaza mutat egyedi elhelyezkedést. Az eredményeket a 2. és 4. ábrákkal összevetve megállapítható, hogy a PC1 tengely mentén elkülönülő OBE69 pontok a műtrágyakezeléssel érintett megfigyelésekhez tartoznak, vagyis az e klón esetében megfigyelt, a tisztán műtrágyakezelés hatására előállt alacsonyabb foszfor-, kálium-, cink-, réz- és vastartalomnak köszönhető a részben egyedi mintázat. Ezt alátámasztja a főkomponens elemzés során meghatározott, teljes varianciához való hozzájárulása az egyes elemeknek (2. táblázat). Az első főkomponens képviselte varianciához ugyanis a vas (20,3%), a kálium (20,1%) és a cink (18,6%) járulnak hozzá a legnagyobb mértékben.





3. ábra: Az egyes fajta-kezelés kombinációhoz tartozó megfigyelések ábrázolása 1-es és 2-es főkomponens értékeik alapján, klónok szerinti bontásban (megjegyzés: az egyes főkomponensek neve mellett szereplő számok a főkomponens által képviselt variancia mértékét mutatják)

Figure 3: Plot of the observations for each variety-treatment combination by their first two principal component values, broken down by clones investigated (note: the numbers next to axes indicate the amount of variance represented by the principal component)



4. ábra: Az egyes fajta-kezelés kombinációhoz tartozó megfigyelések ábrázolása 1-es és 2-es főkomponens értékeik alapján, kezelések szerinti bontásban (megjegyzés: az egyes főkomponensek neve mellett szereplő számok a főkomponens által képviselt variancia mértékét mutatják; jelmagyarázat: D0 – nullkezelés (kontrol); MT – műtrágya kezelés; ST – szerves trágya kezelés; MT & ST – szervesetlen és szerves trágya kombinált kezelése)

Figure 4: Plot of the observations for each variety-treatment combination by their first two principal component values, broken down by nutrient treatments (note: the numbers next to axes indicate the amount of variance represented by the principal component; legend: D0 – zero treatment (control); MT – inorganic fertilizer treatment; ST – organic fertilizer treatment; MT & ST – combined treatment of inorganic and organic fertilizer)

Az egyes tápanyag-utánpótlás kezelések főkomponens értékeit szemlélve megállapítható (4. ábra), hogy az első főkomponens mentén az egyes kezelések pontfelhői a klónok esetében megfigyelthez képest határozottabban elkülönülést mutatnak. Az elkülönülés a szervetlen és szerves-trágya kezelések tekintetében jelentős elsősorban; előbbi negatív, utóbbiak pozitív irányban térnek el a kontrolkezeléstől. E megfigyelés ugyancsak összhangban van az egyes elemek tekintetében megfigyelt z-érték adatokkal: a szignifikáns kapcsolatokat figyelembe véve a tisztán műtrágya kezelés többségében negatív hatással van az elemek levélszövetben való relatív (kontrolhoz viszonyított) mennyiségére (13 negatív kapcsolat az 5 pozitívval szemben), míg a szerves-trágyát is tartalmazó kezelések esetében a mérleg pozitív irányba tolódik el (12 negatív a 27 pozitív kapcsolattal szemben; 2. ábra).

A második főkomponens által képviselt varianciára a nikkelnak (40,3%) és a mangánnak (33,5%) volt a legnagyobb hatása. Ugyan a PC2-es tengely mentén sem a fajták, sem a kezelések nem mutattak határozott szegregációt, a klónok közül az OBE01-es-hez tartozó pontok (megfigyelések) negatív tartományba eső értékei figyelemre méltóak voltak. A levelek kontrolkezeléshez viszonyított nikkell- és mangántartalma e klón esetében mutatta a legnagyobb számú (4 db) statisztikailag igazolható negatív eltérést.

2. táblázat: Az egyes makro- és mikroelemek (változók) hozzájárulása az első két főkomponens képviselte varianciához

Table 2: The contribution of the macro- and microelements to the variance represented by the first two principal components

| Vizsgált elemek | PCA1  | PCA2  |
|-----------------|-------|-------|
| N               | 14,6% | 1,8%  |
| P               | 14,6% | 11,6% |
| K               | 20,1% | 6,6%  |
| Cu              | 8,5%  | 0,2%  |
| Zn              | 18,6% | 2,2%  |
| Mn              | 3,0%  | 33,5% |
| Fe              | 20,3% | 3,7%  |
| Ni              | 0,1%  | 40,3% |

A levélszövetek elemtartalmára, illetve az egyes elemek egymáshoz viszonyított arányára számos tényező, így az elemek rendelkezésre állása (termőhely), a klíma, az egyedek kora, illetve a fajok, sőt, az egyedek közötti különbségek is hatással vannak (Ågren, 2008). Mindazonáltal, általánosságban, az általunk is vizsgált elemek közül a nitrogén, a foszfor és a mangán mennyisége a levelekben növekedési ráta függő, és általában azonos, a növekedéssel pozitív kapcsolatot mutat; a kálium felvétele levélbiomassza mennyiségének növekedésével arányos, ami beépíthetőségének korlátozottságát feltételezi; a vas és a cink felvehetőségét általában a talajban való korlátolt elérhetőségük szabályozza, míg a réz az első (növekedési intenzitás-függés) és a második csoport (biokémiaiilag determinált) jellegzetességeit mutatja (Ågren & Weih, 2012). Eredményeink alapján, az elemtartalom változás irányát és mértékét figyelembe

vége a vizsgált makro- és mikroelemek a következő három csoportba voltak sorolhatók: 1.) a tápanyagkezelések pozitív hatással voltak a levélszövetekben való jelenlétükre (nitrogén, kálium, vas); 2.) a tápanyag-utánpótlás hatása az akkumulációjukra genotípusfüggő, de jellemzően negatív irányú (mangán, réz, cink); 3.) a tápanyag-utánpótlás érdemben nem változtatta meg a mennyiségüket a levelekben (foszfor, nikkel). Ågren & Weih eredményeit is alapul véve, a makroelemek közül a nitrogén és a kálium esetében feltételezhető, hogy a növények az általunk vizsgált kísérletben a tápanyag-utánpótlás hatására nagy mennyiségben tudták őket hasznosítani (fedezni tudták az intenzív növekedés keltette tápanyagigényüket) és hogy utóbbi nem érte el a beépíthetőségi határát, ami e két elem talajban való korlátozott elérhetőségére utalt. A foszfor nem tartozott a limitáló tápelemek közé, vagyis a növények a növekedési intenzitásuk fenntartásához a kontrol parcellákban is megfelelő mennyiségben tudták felvenni a talajból. A vas korlátozottan volt elérhető, míg a nikkel megfelelő mennyiségben állt a növények rendelkezésére a tápanyagkezelés alatt nem álló területeken, a mangán, a réz és a cink felvehetőségét, így hasznosítását pedig környezeti faktorok (alacsony elérhetőség), vagy más elemek jelenléte (intenzívebb hasznosítása) korlátozhatta (Ågren & Weih, 2012).

Kutatásunk rámutatott arra, hogy a gyenge homoki területeken létesített akácültetvények tápanyag-utánpótlása képes élettani változásokat előidézni a kiültetett növényekben, ami végső soron hozzájárulhat az ültetvények növekedésének, termőhelyállóságának fokozásához. Az egyes klónok makro- és mikroelemhasznosítása között tapasztalt különbségek pedig nemesítési és termesztésfejlesztési jelentőséggel bírnak, és olyan klónok szelektálására hívják fel a figyelmet, melyek képesek a tápanyag-utánpótlás hatására előállt kedvezőbb elemviszonyokat növekedésük és ellenállóképességük fokozására fordítani. Eredményeink ugyanakkor megalapozó jellegűnek tekintendők, a tápanyaghasznosítás növekedéssel, valamint a biotikus és abiotikus károsítókkal szembeni toleranciával való kapcsolatának feltárása további kutatásokat igényel.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk során egy gyenge homoki termőhelyen létesített kísérleti akác ipari célú faültetvényben végeztünk tápanyaghasznosítási vizsgálatokat. A kísérletben négy akáklón (OBE01, OBE34, OBE53, OBE69) tesztelése folyt különböző tápanyag-utánpótlás kezelések (nullkontrol, műtrágya, szervesztrágya, valamint együttes szervesztrágya és szervesztrágya kijuttatás) mellett. Az egyes klónokhoz tartozó növények tápanyaghasznosítását a leveleik tápelemtartalma alapján értékeltük, az értékelésbe pedig a következő makro- és mikroelemeket vontuk be: nitrogén, foszfor, kálium, réz, cink, vas, mangán és nikkel. A kontrolkezeléshez viszonyított tápanyagfelvételt módosított z-érték számításával elemeztük. A három éven keresztül végzett elemzések során az egyes elemek hasznosításában jelentős különbségeket figyeeltünk meg: a többlet tápanyagkijuttatás pozitív hatással volt a levélszövetek nitrogén-, kálium- és vastartalmára, klónoktól függően, de jellemzően negatívan befolyásolta a levelek mangán- réz- és cinktartalmát, illetve nem okozott változást a növények foszfor- és a nikkelhasznosításában. Az egyes klónok között, bizonyos elemek hasznosítása tekintetében, jelentős különbségek mutatkoztak: az OBE01 és OBE53 klónok leveleiben megnövekedett, az OBE34 és OBE69 klónok levélzetében ellenben szignifikánsan lecsökkent a réz- és a cinktartalom

a kezelések hatására. A teljes elemsor együttes értékelése során tápanyag-hasznosítás mintázatuk alapján a klónok határozott elkülönülést ugyanakkor nem mutattak; az egyes tápanyagkezelések hatása viszont jelentősen eltérő volt. A tisztán műtrágya kezelés döntően negatívan befolyásolta a klónok elemhasznosítását, míg a szerves-trágyát is tartalmazó kezelések, elemektől függően ugyan, de jellemzően pozitív hatással voltak rá. A klón-kezelés kombinációban megfigyelt tápanyaghasznosítás-variancia kialakulásáért legnagyobb mértékben a vas, a kálium és a cink levélszövetekbe történő eltérő beépülése volt felelős. Eredményeink fontos ismeretekkel szolgálhatnak a tápanyag-utánpótlás növekedésre és stressztoleranciára gyakorolt hatásának fiziológiai alapú kutatásaihoz.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatásunk kivitelezéséhez nyújtott segítségéért külön köszönettel tartozunk Pogrányi Kálmánnak (Silvanus Csoport Kft.), valamint Kiss Lászlónénak és Palkovits Lászlónénak (Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet). Kutatásunkat a 2017-1.3.1-VKE-2017-00022 azonosítószámú, „*A fatömeg hozamot és faanyagminőséget jelentősen növelő, a gyakorlatban eddig nem alkalmazott állománynevelési és trágyázási eljárások kidolgozása új, gyorsnövésű fajtákkal létesített erdészeti ültetvényekben*” című projekt finanszírozásában végeztük. A 2017-1.3.1-VKE-2017-00022 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Versenyképességi és kiválósági együttműködések (VKE\_17) pályázati program finanszírozásában valósult meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Ábri T., Keserű Z., Borovics A., Rédei K. & Csajbók J. 2022: Comparison of Juvenile, Drought Tolerant Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Clones with Regard to Plant Physiology and Growth Characteristics in Eastern Hungary: Early Evaluation. *Forests* 13(2). <https://doi.org/10.3390/f13020292>
- Ågren G.I. 2008: Stoichiometry and Nutrition of Plant Growth in Natural Communities. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 39: 153–170. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173515>
- Ågren G.I. & Weih M. 2012: Plant stoichiometry at different scales: Element concentration patterns reflect environment more than genotype. *New Phytologist* 194(4): 944–952. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04114.x>
- Bartha D., Csizsár Á. & Zsigmond V. 2008: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). In: Botta-Dukát Z. and Balogh L. (eds.): *The most important invasive plants in Hungary*. Institute of Ecology and Botany Hungarian Academy of Sciences, Vácrátót, 63–76.
- Bedbabis S., Ferrara G., Ben Rouina B. & Boukhris M. 2010: Effects of irrigation with treated wastewater on olive tree growth, yield and leaf mineral elements at short term. *Scientia Horticulturae* 126(3): 345–350. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.020>
- Boshkovski B., Tzerakis C., Doupis G., Zapolska A., Kalaitzidis C. & Koubouris G. 2020: Relationships of Spectral Reflectance with Plant Tissue Mineral Elements of Common Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Under Drought and Salinity Stresses. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 51(5): 675–686. <https://doi.org/10.1080/0103624.2020.1729789>
- Brewster R. 2023: Paint.net (Version 5.0.3) [C#, C++, C++/CLI]. <https://getpaint.net/>
- Chen R., Zhu J., Zhao J., Shi X., Shi W., Zhao Y. et al. 2023: Relationship between Leaf Scorch Occurrence and Nutrient Elements and Their Effects on Fruit Qualities in Chinese Chestnut Orchards. *Forests* 14(1). <https://doi.org/10.3390/f14010071>

- Dehelean A., Cristea G., Balazs Z., Magdas D. A., Feher I., Voica C. & Puscas R.H. 2019: Macro- and Microelemental Distribution in *Phaseolus Vulgaris* L. Tissue Irrigated with Water with Varying Isotopic Compositions. *Analytical Letters* 52(1): 111–126. <https://doi.org/10.1080/00032719.2018.1431655>
- Gu Z., Eils R. & Schlesner M. 2016: Complex heatmaps reveal patterns and correlations in multidimensional genomic data. *Bioinformatics* 32(18): 2847–2849. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btw313>
- Hančević K., Radić T., Pasković I. & Urlić B. 2018: Biochemical and physiological responses to long-term *Citrus tristeza* virus infection in Mexican lime plants. *Plant Pathology* 67(4): 987–994. <https://doi.org/10.1111/ppa.12799>
- Houdegbe A.C., Achigan-Dako E.G., Sogbohossou E.O.D., Schranz M.E., Odindo A.O. & Sibiya J. 2022: Leaf elemental composition analysis in spider plant [*Gynandropsis gynandra* L. (Briq.)] differentiates three nutritional groups. *Frontiers in Plant Science* 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.841226>
- Keresztesi B. 1983: Breeding and cultivation of black locust, *Robinia pseudoacacia*, in Hungary. *Forest Ecology and Management* 6(3): 217–244. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(83\)80004-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(83)80004-8)
- Kruskal W.H. & Wallis W.A. 1952: Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47(260): 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
- Lê S., Josse J. & Husson F. 2008: FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software* 25(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Lett B. 2021: Amit a számok mutatnak – Az erdőtelepítések tapasztalatai 1920–2020. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron. [http://publicatio.uni-sopron.hu/2169/1/EVGI\\_kozlemenyek\\_15\\_ASZM\\_Erdotelepitesek\\_tapasztalat\\_egyben.pdf](http://publicatio.uni-sopron.hu/2169/1/EVGI_kozlemenyek_15_ASZM_Erdotelepitesek_tapasztalat_egyben.pdf)
- Lett B., Horváth S. & Fülöp V.G. 2020: Amit a számok mutatnak az akácról Az akácgazdálkodás szerepe a magyar erdőgazdálkodásban. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron. [http://publicatio.uni-sopron.hu/1957/1/EVGK\\_13\\_Akac-gazdalkodas\\_szerepe\\_a\\_magyar\\_erdogazdalkodasban.pdf](http://publicatio.uni-sopron.hu/1957/1/EVGK_13_Akac-gazdalkodas_szerepe_a_magyar_erdogazdalkodasban.pdf)
- Li Y., Song H., Zhou L., Xu Z. & Zhou G. 2019: Vertical distributions of chlorophyll and nitrogen and their associations with photosynthesis under drought and rewetting regimes in a maize field. *Agricultural and Forest Meteorology* 272–273: 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.03.026>
- Ma C., Zhang W., Wu M., Xue Y., Ma L. & Zhou J. 2013: Effect of aboveground intervention on fine root mass, production, and turnover rate in a Chinese cork oak (*Quercus variabilis* Blume) forest. *Plant and Soil* 368(1): 201–214. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1512-0>
- Nemzeti Földügyi Központ Erdészeti Főosztály 2023: Magyarország erdeinek összefoglaló adatai 2022. [https://nfk.gov.hu/Magyarorszag\\_erdeivel\\_kapcsolatos\\_adatok\\_news\\_513](https://nfk.gov.hu/Magyarorszag_erdeivel_kapcsolatos_adatok_news_513)
- Németh J., Pogrányi K., Horváth S. & Németh M. 2022: Új akác fajtákkal létesített ültetvények a fenntartható jövőért. [https://fataj.hu/wp-content/uploads/2022/05/AKAC\\_Silvanus\\_HU.pdf](https://fataj.hu/wp-content/uploads/2022/05/AKAC_Silvanus_HU.pdf)
- Oliveira S.R., Gomes Neto J.A., Nóbrega J.A. & Jones B.T. 2010: Determination of macro- and micronutrients in plant leaves by high-resolution continuum source flame atomic absorption spectrometry combining instrumental and sample preparation strategies. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 65(4): 316–320. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2010.02.003>
- Pearson K. 1901: LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 2(11): 559–572. <https://doi.org/10.1080/14786440109462720>
- R Core Team. 2022: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- Shapiro S.S. & Wilk M.B. 1965: An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika* 52: 591–611.
- Tinkov A.A., Nemereshina O.N., Suliburska J., Gatiatulina E.R., Regula J., Nikonorov A.A. & Skalny, A.V. 2016: Comparative Analysis of the Trace Element Content of the Leaves and Roots of Three Plantago Species. *Biological Trace Element Research* 173(1): 225–230. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0626-2>
- Wang M., Li G. & Liu Y. 2022: Nursery fertilization affected field performance and nutrient resorption of *Populus tomentosa* Carr. Ploidy levels. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 15(1): 16–23. <https://doi.org/10.3832/ifer3912-014>
- Wang Z., Xia C., Yu D. & Wu Z. 2015: Low-temperature induced leaf elements accumulation in aquatic macrophytes across Tibetan Plateau. *Ecological Engineering* 75: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.015>



- Watanabe T., Broadley M.R., Jansen S., White P.J., Takada J., Satake K. et al. 2007: Evolutionary control of leaf element composition in plants. *New Phytologist* 174(3): 516–523. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02078.x>
- Wickham H. 2016: *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* (2nd ed. 2016). Springer-Verlag GmbH, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>
- Wickham H., François R., Henry L., Müller K. & Vaughan D. 2023: *dplyr: A Grammar of Data Manipulation* (Version 1.1.2). <https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html>
- Wilcoxon F. 1945: Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin* 1(6): 80–83. <https://doi.org/10.2307/3001968>
- Yan Z., Hou X., Han W., Ma S., Shen H., Guo Y. et al. 2019: Effects of nitrogen and phosphorus supply on stoichiometry of six elements in leaves of *Arabidopsis thaliana*. *Annals of Botany* 123(3): 441–450. <https://doi.org/10.1093/aob/mcy169>
- Yang H. 2018: Effects of nitrogen and phosphorus addition on leaf nutrient characteristics in a subtropical forest. *Trees* 32(2): 383–391. <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1636-1>

Érkezett: 2024. szeptember 30.  
Közlésre elfogadva: 2025. január 14.



# A GYÉRÍTÉSEK LEHETSÉGES HATÁSA BÜKK ÁLLOMÁNYOK GENETIKAI SZERKEZETÉRE – HÁROM HOSSZÚLEJÁRATÚ, ERDŐNEVELÉSI SOR GENETIKAI ÉS FATERMÉSI SZEMPONTÚ ÉRTÉKELÉSE

Cseke Klára<sup>1\*</sup>, Borovics Attila<sup>1</sup>, Jagodics Anikó<sup>2</sup>, Lados Botond Boldizsár<sup>1</sup>, Nagy László<sup>1</sup>, Benke Attila<sup>1</sup> és Kollár Tamás<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Erdészeti Tudományos Intézet, Nemesítési Osztály, Soproni Egyetem

<sup>2</sup>Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológiai és Erdőművelési Osztály, Soproni Egyetem

## Kivonat

Vizsgálatunkban három hosszúlejárátú bükk (*Fagus sylvatica* L.) erdőnevelési kísérlet értékelését végeztük el az élőfakészlet alakulásának szempontjából, illetve a genetikai diverzitás esetleges változásainak feltárása céljából, Kőszegen, Tormaföldén, illetve Visegrádon. A kísérletben üzemi és intenzív erélyű gyérítések hatását elemeztük egy beavatkozástól mentes parcellához viszonyítva. A fatermési adatsorok alapján a 2000-es évektől kezdődően a kísérleti tervektől eltérő beavatkozások, illetve abiotikus károk nyomai is megfigyelhetők voltak. A gyérítések hatása leginkább a tormaföldei és részben a kőszegi kísérlet parcellasorain érhető tetten. A genetikai vizsgálatok nem igazolták, hogy gyérítés hatására csökkenne a genetikai diverzitás, az alkalmazott öt nukleáris mikroszatellit marker alapján. Az üzemi gyérítésen átesett parcellák magasabb vagy közel azonos genetikai diverzitási értékekkel rendelkeznek, mint a kontroll. Kőszeg esetében a két kezelt parcella mutat nagyobb fokú genetikai hasonlóságot, míg Tormaföldén az üzemileg gyérített és a kontroll parcella áll egymáshoz közelebb. A visegrádi parcellasor mind a fatermés alakulása szempontjából, mind a genetikai mintázat tekintetében nehezen értékelhetőnek bizonyultak. A genetikai diverzitás regionális szinten a kőszegi állományban volt a legmagasabb, a visegrádirban pedig a legalacsonyabb.

**Kulcsszavak:** bükk, *Fagus sylvatica* L., gyérítés, fatermés, genetikai diverzitás

## THE EFFECT OF THINNING ON THE GENETIC STRUCTURE OF BEECH STANDS – A GENETIC AND GROWTH ASSESSMENT OF THREE LONG-TERM BEECH FOREST THINNING TRIALS

### ABSTRACT

The study aimed to evaluate three long-term beech (*Fagus sylvatica* L.) forest thinning trials from the aspect of changes in forest yield and to explore putative changes in genetic diversity in the stands of Kőszeg, Tormafölde, and Visegrád. In the trials, we analyzed the effect of traditional and intensive thinning on two plots compared to a theoretically unmanaged control plot. Based on the tree yield data sets, we could trace abiotic damages, and in some cases, unplanned thinnings, especially from the 2000s onwards. The thinning effect on tree yield can adequately be evaluated on the plots of Tormafölde and partly in Kőszeg. The comparative analysis of the genetic diversity of the differently managed plots did not prove that genetic diversity would decrease due to thinning. The plots with the traditional thinning have almost the same or even higher genetic diversity values as the control plot. In the trial in Kőszeg, the two treated plots show higher degree of genetic similarity, while in Tormafölde, the traditionally thinned and the control plots are genetically closer to each other. The plots of Visegrád were not interpretable from both the view of yield changes and genetic patterns. The genetic diversity at the regional level was the highest in the forest stand of Kőszeg and the lowest in Visegrád.

**Keywords:** European beech, *Fagus sylvatica* L., thinning, yield, genetic diversity

### BEVEZETÉS

A klímaváltozás által veszélyeztetett bükkösök sorsa bő három évtizede foglalkoztatja mind a hazai, mind az európai szakmai közönséget (Frýdl et al. 2010; Horváth & Mátyás 2014; Führer et al. 2016; Janik et al. 2016; Somogyi 2016; Gálos & Somogyi 2017). Az őshonos bükkállományok részaránya a klímamodellek alapján biztosan csökkenni fog (Illés & Móricz 2022), ugyanakkor élénk szakmai vita zajlik a fafajban rejlő valós potenciálról, a helyi állományok alkalmazkodóképességéről és lehetséges túlélési stratégiáiról. A középhegységeinktől a délnyugat-magyarországi dombvidékekig megtalálható hazai bükkösök szinte kivétel nélkül a faj elterjedésének szárazsági peremén léteznek (Cúcz et al. 2013). Az állományok genetikai mintázatáról, továbbá az elhelyezkedésükből fakadó, esetleges genetikai sajátosságaikról, nincsenek részletes ismereteink, illetve csak nagyon korlátozott mértékben áll rendelkezésünkre információ (Höhn et al. 2021).

A Soproni Egyetemhez tartozó Erdészeti Tudományos Intézet (továbbiakban ERTI) hosszúlejáratú tartamkísérletei az 1950-es, 1960-as években indultak, elsősorban faterméstani kutatási céllal, jellemzően 20-25 éves állományokban (Kollár & Borovics 2021). A hagyományos fatermési tartamkísérletek részét képező, ún. erdőnevelési kísérleti sorok olyan kísérleti területek, amelyek a kontroll (gyérítetlen) mellett különböző eréllyel gyérített parcellákból (kvadrátokból) épülnek fel. Az erdőnevelési beavatkozásokkal érintett parcellák között vannak a helyi nevelési gyakorlat szerint kezelt üzemi, és ehhez viszonyítva erősen és gyengén gyérített, illetve bizonyos esetekben köztes állapotú parcellák is. Az eredeti kísérleti koncepció szerint, a kontroll parcellában fakitermelés nem volt végezhető, és a holtfának is a területen kellett maradnia. Ugyanakkor, sajnálatos módon a kísérletek időtartama alatt, jellemzően a '90-es évektől kezdődően, ez a kísérleti fegyelem megszakadt, így ma már inkább a legkevésbé gyérített parcellaként hivatkozhatunk a kontrollra. A tartamkísérletek állományainak kora mára meghaladta a 70 évet, és sok esetben elmondható, hogy olyan hatások érték az elmúlt év-

tizedek során – felvételezések elmaradása, sorszámok eltűnése, nem tervezett gyérítés a kontroll parcellán, biotikus és abiotikus károsítások, amelyek miatt az eredeti kísérleti rendeltetésük szerinti értékelés nehézkessé vált. Ugyanakkor épp a bükk kísérletek esetében, az itt bemutatásra kerülő három kiválasztott kísérleti helyszínen, megfigyelhető a kontinuitás az adatsorokban, amely a kísérlet fenntartása és többszemponútú értékelése mellett szól.

A három bükk állomány a Kőszegi-hegység, a Zalai-dombság (Göcsej) és a Visegrádi-hegység területén található, így némileg más-más növényföldrajzi, termőhelyi sajátosságokat mutatnak. A kőszegi állomány tengerszint feletti magassága alapján inkább már a szubmontán bükkösök zónájába esik, és az Alpok keleti lábán tenyészve, növényföldrajzi értelemben a kelet-alpi flóraidékhez tartozik. A Tormafölde mellett található zalai állomány ugyanakkor szinte síkvidéki bükkösnek tekinthető, illir jegyeket viselő állomány. A harmadik, Visegrád térségében lévő állomány a Dunántúli-középhegység és az Északi-középhegység flóraidékének találkozási zónájában helyezkedik el (Soó 1964). Ugyanakkor a bükk európai léptékű génkészlet vizsgálataiból egy olyan mintázat rajzolódik ki, amely alapján a déli refúgium területeket leszámítva, Európa nagy részére jellemző, domináns haplotípust tekinthetjük a hazai állományokban is általánosnak (Magri et al. 2006). Ez a nagyléptékű, kiterjedt és egyeduralkodó genetikai mintázat feltételezhetőleg arra vezethető vissza, hogy a bükk esetében a legutóbbi eljegesedés utáni visszavándorlás és rekolonizáció elsősorban közép-európai másodlagos refúgiumokból indult ki, nem pedig a diverzitás megőrzéséért felelős déli területekről. Az említett kutatás alapját olyan izoenzim, illetve kloroplaszt DNS markerek képezték, amelyek alkalmasak a leszármazási útvonalak nagyléptékű visszakövetésére, ugyanakkor kis felbontóképességgel rendelkeznek.

A nukleáris eredetű mikroszatellit vagy más néven SSR (*simple sequence repeat*) markerek szintén semleges mintázatot őriznek (jellemzően nemkódoló régiókhoz köthetőek), és alkalmasak a genetikai kapcsolatok, csoportmintázatok finomabb léptékű feltárására. Egy nemzetközi kutatás (Höhn et al. 2021) hat nukleáris SSR marker alkalmazásával vizsgálta 12 európai bükk állomány genetikai mintázatát Spanyolország, Észak-Olaszország, Németország, Lengyelország, Bosznia-Hercegovina, Szlovákia, Magyarország, Dél-Románia és Bulgária területéről. A mintasorban szereplő hazai állomány szintén a Kőszegi-hegységből származott. A kutatás öt különböző genetikai klasztert tudott elkülöníteni, amiből egyértelműen kivált két déli klaszter (pireneusi és bulgáriai), és ezen kívül elkülöníthető volt az Alpok és a Kárpátok egyedi mintázata, valamint a közép-balkáni térség mintázata is. A vizsgált állományokban egyöntetűen magas genetikai diverzitás volt kimutatható, a legtöbb esetben heterozigóta többlettel. Érdekes módon a kőszegi mintaterületen jelentkezett a legmagasabb heterozigóta többlet, illetve ez az állomány rendelkezett a legtöbb allélvariánssal. A vizsgált kőszegi állományban két genetikai klaszter típusa, a balkáni és az alpesi vonal volt megtalálható, közel fele-fele arányban. Ez a kutatás előrevetíti annak a lehetőségét, hogy a sejtmagi DNS vizsgálata alapján a hazai bükk állományokban is kimutatható lesz a különböző populációk pontosabb származása.

A helyi genetikai mintázatot befolyásoló másik fontos tényező a múltbéli antropogén hatás. Az egykori királyi központként működő visegrádi térség például, legalább a török hódoltság végéig az egyik legsűrűbben lakott terület volt a történeti Magyarországon, ami intenzív erdőhasználatot feltételezhet. A Nyugat-Dunántúl erdősegeit több történeti hatás is érintette (Szakács 2022), hiszen a török korig a fennmaradt gyepűvidékkel együtt szintén királyi birtok volt (erdő- és vadászbirtok), amely a török időkben jelentős hadszíntérré változott, majd a török

küüzése után újránépesedett. Ez a népesedés, a lakóterületek terjeszkedése mindig együtt járt az erdőterületek irtásával is, hogy a művelés alá vont területeket növelhessék. A legerőteljesebb hatást ugyanakkor a 18. században a hazánk egyik fő exportcikkének számító hamuzsír készítése, illetve az ezzel összefüggésben folyó mészégetés, szénégetés és üveggyártás hozta el. Bár mind a kőszegi, mind a zalai vidék az Esterházy-uradalom része volt, ugyanakkor markáns különbségek mutatkoztak a gazdálkodás minőségét illetően (Szakács 2022). A kőszegi területeken kifejezetten haladó szellemiségű, szakszerű és tudatos erdőgazdálkodás folyt, gyakorlatilag az osztrák rendtartás nagyon korai adaptálásával. Nagyobb hatással inkább az itt létesült gőzüzemű fűrésztelep (*Rotes Haus*, Léka) bírt, amely a kor egyik legkorszerűbb fafeldolgozó üzemének számított, és amely nagy volumenben használta fel a környező bükkösökben kitermelt faanyagot. Az állományokat ebben az időszakban ebben a régióban jellemzően ernyős felújítással újították fel. Ezzel szemben az Esterházy-hitbizományi erdők zalai térségre eső része nagyrészt bérbe került, ahol a bérlők a fellendülő fapiac hatására jelentős kitermelést végeztek a helyi bükkösökben. A környék legjelentősebb üveghutája ekkoriban Vetyemben, a tormaídei terület közvetlen szomszédságában működött.

A jelenkori genetikai struktúrát az említett evolúciós, illetve antropogén hatások jelentősen befolyásolhatták. A gyérítések, mint kezelések hatását tehát ezek figyelembevételével szükséges értékelnünk. A szakirodalomban egyetlen nemzetközi kutatás áll rendelkezésünkre, amely hasonló célkitűzést fogalmazott meg és hasonló markerezési módszert, vagyis nukleáris SSR markereket alkalmazott. Buiteveld és munkatársai (2007) kutatásukban Európa öt montán bükk állományában (Északkelet-Németországban, Hollandiában, Ausztriában, Dél-Franciaországban és Olaszországban) vizsgálta a művelés hatását a genetikai diverzitás alakulására. A kutatás azzal a konklúzióval zárult, hogy az emberi beavatkozás nem csökkentette a genetikai diverzitási mutatókat a kontrollként vett, érintetlen erdőállományokhoz képest az öt helyszín egyikén sem. Egyedül a finomléptékű térbeli genetikai szerkezetben volt kimutatható egyfajta egyszerűsödés a művelés alatt álló állományokban, a komplexebb szerkezetű, természetközeli állományokéhoz képest (Piotti et al. 2013). A kutatás olaszországi helyszínén végzett, még részletesebb genetikai elemzés eredményeképpen (Paffetti et al. 2012) az derült ki, hogy ugyan a genetikai diverzitás mutatói nem csökkentek a művelt területen az érintetlen állományrészhez képest, de az összetett emberi beavatkozás (sarjztatás a 19. század végéig több ciklusban, majd ezután tudatos átalakítás alsószintű gyérítéssel és lékes felújítással) az egykori állomány finomléptékű genetikai struktúráját szinte teljesen megszüntette és homogenizálta az állományt. Ezen kívül kimutatható volt a ritka, egyedi allélok eltűnése is az emberi hatásoknak kitett területen.

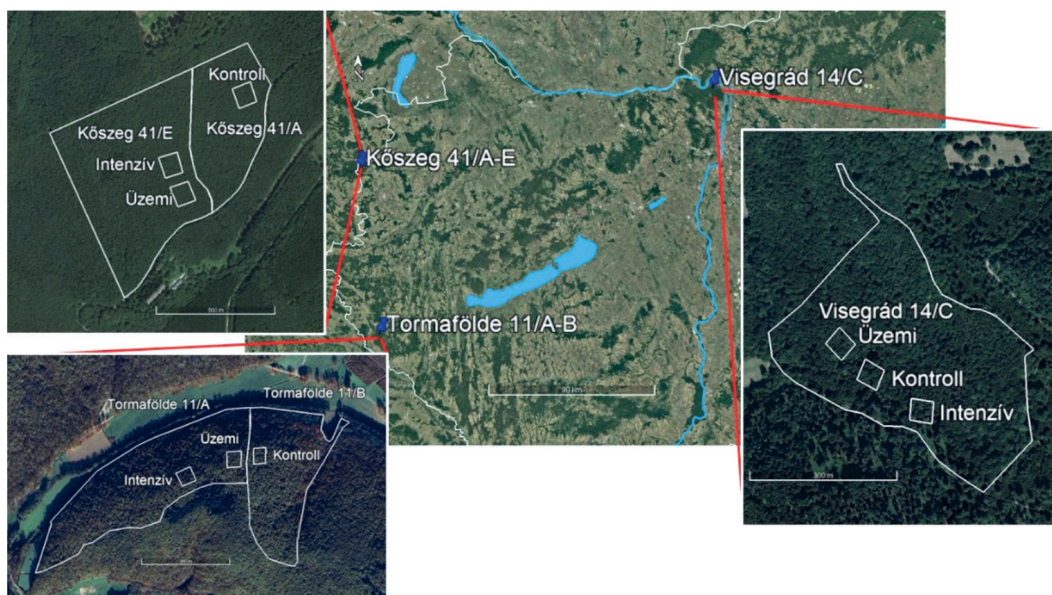
Jelen vizsgálat tárgyát egy 2000/2001 fordulóján megkezdett genetikai szempontú vizsgálat értékelése képezi, amely a három bükk erdőnevelési sor kísérleti parcelláinak genetikai szerkezetét célozta feltárni a gyérítési beavatkozások mentén. Az eredetileg tervezett izoenzim analízis ugyan nem készült el, azonban a fagyasztva tárolt rügymintákból később DNS-kivonást végeztünk és mikroszatellit (SSR) markerekkel fejeztük be az elemzést. A jelen kutatás részben a 24 évvel ezelőtti állapot értékelése, még fontosabb célkitűzésünk volt, hogy a kísérletek jelenkori állapotát felmérjük és jövőbeni hasznosíthatóságukat mérlegeljük. Értékeljük a magasság és átmérő átlagok, illetve az egy hektárra vetített tőszám és fatérfogat alakulását, helyszínenként és kezelésenként, amelyvel egy általános képet kaphatunk a kísérlet értékelhetőségéről az erdőművelés szempontjából. Ezután végeztük el a genetikai elemzést. Az elemzések során két alapfeltételezésből indultunk ki:

1) a különböző erélyű gyérítések hatására a fatermési mutatókban egységes tendenciák lesznek megfigyelhetők a tőszám, fatérfogat, illetve magasság-átmérő tekintetében; 2) az egyre intenzívebb gyérítés hatására a genetikai diverzitási mutatókban csökkenés lesz megfigyelhető a kontroll parcellához viszonyítva. A vizsgálat fontos célkitűzése volt a hosszúlejárátú tartamkísérleti hálózat újabb szempontú hasznosíthatóságának feltárása is (pl. ökológiai szempontú vizsgálatok, genetikai monitoringterületként történő hasznosítás), amelyhez elengedhetetlen az állományok hátterének többrétegű feltárása.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### Mintaterületek, kísérleti elrendezés, fatermési felvételezés

A vizsgálatra három, az ERTI kezelésében álló, hosszúlejárátú erdőnevelési parcellasor került kiválasztásra a Kőszegi-hegység, a Visegrádi-hegység és a Zalai-dombság Mura-menti területén (1. ábra). A helyszínek főbb adatait az 1. táblázat foglalja össze. Mindhárom helyszínen a következő 3-3 kísérleti parcellán történt mintagyűjtés: üzemi szempontú gyérítéssel kezelt (továbbiakban üzemi), intenzív gyérítéssel kezelt (továbbiakban intenzív), illetve emberi beavatkozástól elméletileg mentes (kontroll).



1. ábra: A vizsgálatba vont kísérleti parcellák elhelyezkedése  
Figure 1: Location of the experimental plots investigated

A felvételezések a '60-as években, jellemzően 20-25 éves korban indultak, a 0,2-0,25 ha területű parcellák összes egyedének sorszámozásával és felvételi adatainak rögzítésével. A kísérletek kitűzése, elindítása Mendlik Géza nevéhez köthető (Mendlik 1974, 1976). A tartamkísérlet felvételezései öt éves tervezett visszatéréssel indultak, azonban ez nem minden esetben volt megoldható. A visszatérési idő helyszínenként változó módon alakult, de átlagosan 5-6 év volt.



A felvételezések során, melyek vegetációs időn kívül történnek, rögzítésre kerül a sorszámozott faegyedek fajtája, két oldali mellmagassági átmérő, magassági görbe szerkesztéséhez elegendő mennyiségű magasság adat, nevelési és magassági osztályozás minden egyes egyed esetében. Az adatbázisban ezáltal nyomon követhető a tőszám változása, illetve a fatermés alakulása.

1. táblázat: A vizsgált kísérleti helyszínek főbb adatai  
Table 1: Description of the investigated experimental sites

| Erdőrészlet       | Tszfm (m) | Állománytípus     | Kitűzési kor | Jelen Kor* (év) | Kitűzés / első felvétel | Utolsó felvétel |
|-------------------|-----------|-------------------|--------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| Kőszeg 41/A-E     | 650-750   | szubmontán bükkös | 25           | 71              | 1966                    | 2021            |
| Tormafölde 11/A-B | 150-250   | illir bükkös      | 20-22        | 79              | 1965                    | 2021            |
| Visegrád 14/C     | 350-450   | szubmontán bükkös | 20           | 81              | 1963                    | 2024            |

\*2024 évre vonatkoztatott adat

A kísérleti helyszíneken a jelenkori tőszám nagy eltéréseket mutat. A visegrádi parcellák kisebb alapterületűek, illetve a nagyfokú elegyesség miatt a három parcellán már csak összesen 139 bükk egyed fordul elő. Tormaföldén ez az összesített adat 228, Kőszegen pedig 334; az utóbbi terület magas egyedszámát az állomány fiatalabb kora és a parcellák nagyobb mérete magyarázza. A kőszegi állományban még jelentős számban megtalálhatóak az egykori genetikai vizsgálatra kijelölt mintafák, ugyanakkor az idősebb tormaföldei, és még inkább a visegrádi állomány parcelláin az akkori 50 mintás merítés már csak töredékében lelhető fel.

Végezetül, azt is ki kell emelni, hogy a kísérleti parcellák nem 100% elegyarányú bükkösök. Noha a tormaföldei és kőszegi parcellák elegyaránya 87% vagy nagyobb, és az évek folyamán javult is a bükk elegyaránya, megközelítve a 100%-ot, a visegrádi terület jóval elegyesebb. Ott a kísérlet kezdetén 44-60% bükk elegyarányt jegyeztek fel, amely az évek folyamán az üzemi parcellában elérte a 90%-ot, azonban a kontroll és intenzív parcellákban 60% körüli maradt. Az állományok jellemzően záródottak. A visegrádi terület kontroll parcelláján tapasztaltunk jelentős lékesedést a 2014-es jég-törés hatásaként (Csépanyi et al. 2017). Ez kb. 20% záródáshiányt okozott a 2014-es felvételkor. Ugyanitt, az intenzív parcellán 10% záródáshiányt tapasztaltunk az utolsó gyérités hatására 2024-ben. Az egész visegrádi erdőtümről elmondható, hogy az erdőgazdaság örökérdőként kezeli, és már az újulatra bontás fázisában van.

Ahhoz, hogy a genetikai szerkezetben bekövetkezett esetleges változásokat leírassuk, az összehasonlító vizsgálathoz négy alapvető fatermési paramétert értékeltünk, a következők szerint: hektáronkénti átlagmagasság, átlagátmérő, tőszám és fatérfogat (Kollár & Borovics 2021). A vizsgálatban használt paraméterek:

- Átlagmagasság ( $H_g$ ) (m): az egyes törzsek magasságának körlappal súlyozott átlaga,

$$H_g = \frac{g_1 \cdot h_1 + g_2 \cdot h_2 + \dots + g_n \cdot h_n}{G}$$



- Átlagátmérő ( $D_g$ ) (cm): az egyes törzsek átmérőinek átlaga, kiszámítása a hektáronkénti körlapösszeg alapján történik,  $D_g = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{N \cdot \pi}}$ .
- Törzsszám (N) (db/ha), a törzsek darabszáma, egy hektárra vetítve.
- Fatérfogat (V) ( $m^3/ha$ ), a törzsek fatérfogatának összege, egy hektárra vetítve

Elegyes állományok esetén a fatermési táblákkal való összehasonlítás céljából, körlap szerinti elegyaránnyal és záródás értékkel módosítottuk a törzsszám és fatérfogat adatokat 100% bükk elegyarányra és 100% záródásra való átváltáshoz. Az adatbázisban rögzített adatok megjelenítése Microsoft Excel programmal történt. A diagrammokon a legújabb bükk fatermési tábla hat fatermési osztályát és a kísérleti parcellák adatait jelenítettük meg (Kollár 2023).

## Genetikai vizsgálat

2000/2001 telén parcellánként 50, véletlenszerűen kiválasztott egyedről, nyugalmi fázisban lévő rügyminta (4-5 vessző, minimum 4-5 db rüggyel) begyűjtésére került sor, amelyeket feldolgozásig  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on tároltunk. A mintagyűjtés random volt, térben jól elkülönülő fákról történt és nem vette figyelembe az egyedek szociális helyzetét, illetve annak eloszlását a mintaparcellán.

A genetikai vizsgálatokra 2010-11 folyamán került sor. A DNS-extrakciót ATMAb-protokollt követve (Dumolin et al. 1995, lásd még Brueggemann et al. 2022) végeztük el, egyedenként 5-6 tisztított rügy felhasználásával. Az extrakció sikerességét 0,5%-os agaróz gélelektroforézissel ellenőriztük. A vizsgálathoz a következő öt nukleáris mikroszatellit (nSSR) marker került kiválasztásra: FS1-15, FS1-25, FS1-03, FS3-04 (Pastorelli et al. 2003), mfc5 (Tanaka et al. 1999). A markerrégiók felszaporításához a PCR reakciót 15  $\mu\text{l}$  végtérfogatban állítottuk össze, GoTaq Flexi polimeráz (Promega, Madison, WI, USA) alkalmazásával a következő összetételben: 5x GoTaq Flexi puffer, 1,5 mM  $\text{MgCl}_2$  (kivéve FS1-15 markernél 2,5 mM), 0,2 mM dNTPmix (egyenként), 0,4 unit polimeráz enzim. A PCR programozása a következő volt: 5 perc  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 30 cikluson keresztül 1 perc  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 1 perc  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (FS1-15, FS1-03, FS3-04, mfc5) /  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  (FS1-25), 1perc  $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ , végül 8 perc  $72\text{ }^{\circ}\text{C}$  záró lépésként. A fragmentanalízis ABI Prism 310-es genetikai analizátorral készült C-mátrix alkalmazásával, TAMRA 350 (ABI GeneScan) méretstandard mellett az ERTI Genetikai Laboratóriumában. Az alkalmazott mátrix három fluoreszcens jelzés használatát tette lehetővé, amellyel egy multiplex mixben elemeztük a következő négy markert (zárójelben a forward primer 5' végén található fluoreszcens jelölés): FS1-25 (TET), FS1-03 (HEX), FS3-04 (6-FAM), mfc5 (TET). Az FS1-15 (TET) marker fragmentanalízisét, mivel méretében átfedett az FS1-25-tel, külön végeztük el. Az elektroferogramok értékelése, és a nyers fragmenthosszak leolvasása a GeneMapper v3.7 szoftverrel történt.

A genotípus adatsor értékelését a GenAlEx 6.5 (Peakall & Smouse 2006, 2012) populációgenetikai elemző szoftverrel végeztük. Az elemzésekben a következő allélgyakoriság értékek alapján számított paramétereket értékeltük: allélszám ( $N_a$ ), effektív allélszám ( $N_e$ ), egyedi allélok száma ( $N_p$ ), Shannon diverzitási index (I), megfigyelt heterozigócia ( $H_o$ ), elvárt heterozigócia ( $H_e$ ), illetve az előbbi kettőből levezethető fixációs index (F), amely a heterozigóták többletére vagy hiányára utalhat az egyensúlyi állapothoz képest. Következő lépésként molekuláris varianciánálizissel (AMOVA) ellenőriztük a helyszínek és parcellák közötti, illetve azokon belüli variancia alakulását 9999 újrendezést

alkalmazva. Páronkénti genetikai távolság mátrixot állítottuk elő a helyszínek és parcellák összehasonlításával, majd ebből egy főkoordináta elemzéssel ábrázoltuk a parcellák egymáshoz viszonyított genetikai kapcsolatát. A Nei-féle genetikai távolságot (Nei 1978) szintén kiszámítottuk a csoportok között és ezt kiindulási távolság mátrixként felhasználva, klaszterezési eljárással egy UPGMA dendrogramon ábrázoltuk a populációk genetikai kapcsolatát. Az ábrák szerkesztéséhez az R programkörnyezetet (R Core Team 2022) használtuk; a dendrogramok elkészítéséhez a 'poppr' csomag (Kamvar et al. 2014) aboot függvényét alkalmaztuk 1000 bootstrap ismétléssel, a fa szerkesztését pedig a 'ggtree' csomag (Yu et al. 2017) segítségével végeztük.

## EREDMÉNYEK

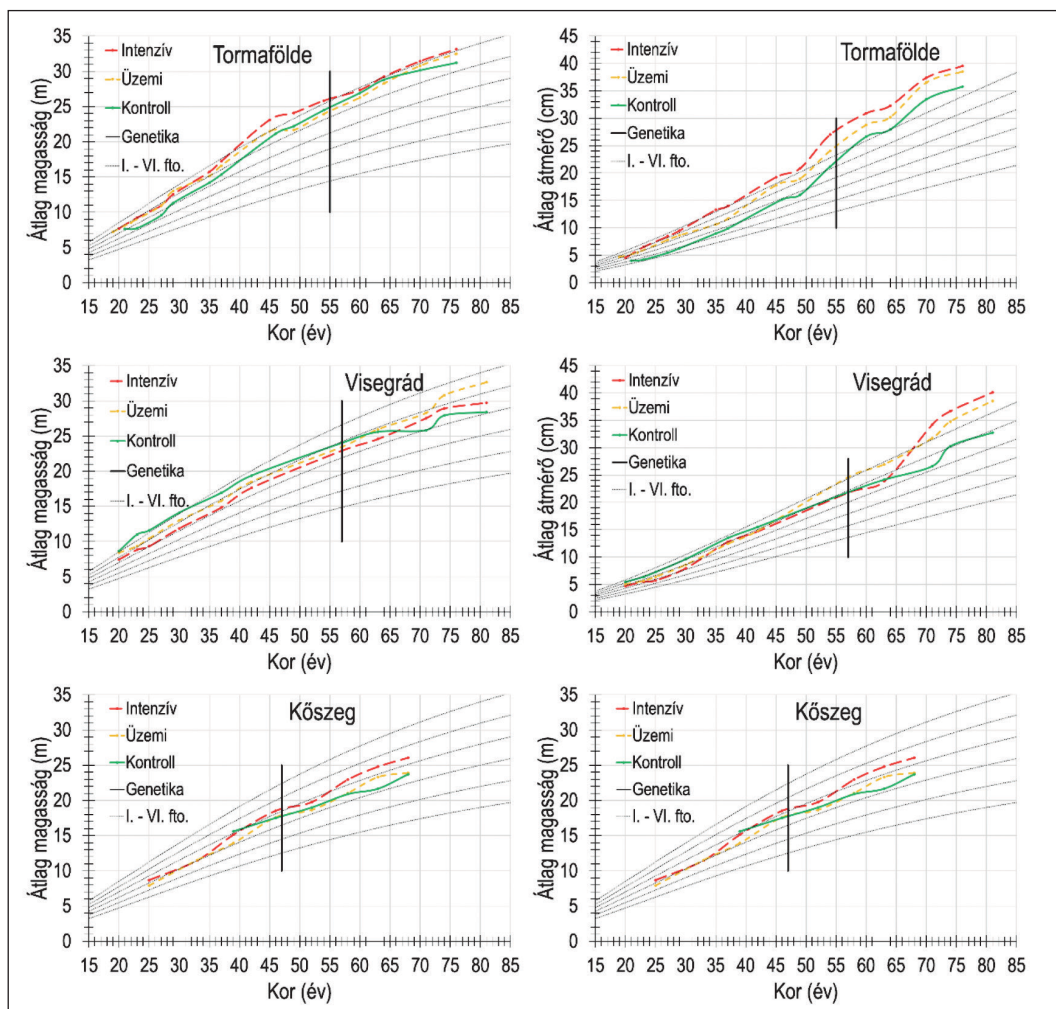
### Fatermési adatok alakulása a gyérítések hatására

A kísérleti területek faterméstani változóit a legújabb bükk fatermési táblához viszonyítottuk (Kollár 2023), amelyekből a legjellemzőbb adatokat mutatjuk be. A tartamkísérlet adatsoraiból az élőállományra vonatkozó fatermési paraméterek változásának alakulását ábrázoltuk négy paraméter mentén (magasság, átmérő, tőszám, fatérfogat), a három helyszínen a két különböző gyérítési eljárás hatására a kontroll parcellával összevetve (2. és 3. ábra). A kőszegi mintaterületen a kontroll parcella adatai csak 2000-től értékelhetők, mivel a teljes parcellára vonatkoztathatóan a mintafák csak ekkor kerültek felvételezésre. A genetikai mintavétel időpontját (2000/2001 tele) egy függőleges fekete vonal jelzi az ábrákon.

A mintaparcellák kísérleti területenként egyértelműen más fatermési osztályokba sorolhatóak, így a tormaföldei parcellák jellemzően az I-es fatermési osztályba, a visegrádi parcellasor a II-esbe, a kőszegi parcellák pedig a III-as fatermési osztályhoz állnak közelebb. Továbbá, esetenként előfordul, hogy egy kísérleten belül az egyes parcellák eltérő fatermési osztályba tartoznak, melynek okai az erdőrészek területének nem egységes termőhelyi adottságaiban keresendők. A fatermési osztályokban megfigyelhető különbségeket az állományok magassági adatai jól szemléltetik (2. ábra, bal oldal).

A gyérítések hatása látványosan megmutatkozik az átlagátmérő (2. ábra, jobb oldal) és a tőszám alakulásában (3. ábra, bal oldal). A kisebb tőszámhoz jellemzően nagyobb átlagátmérő párosul.

Jelen erdőnevelési kísérletben a fatérfogat alakulásával a kezelések hatását értékelhetjük (3. ábra, jobb oldal). Az elvárás szerint a kontroll parcellák körlepja és élőfakészlete magasabb lesz, míg az intenzíven kezelt parcelláké a legalacsonyabb. Az üzemi gyérítés hatására a kontrollhoz képest kicsivel alacsonyabb vagy azonos élőfakészletre számíthatunk, viszont egyenletesebb átmérőeloszlással (célátmérővel). A három kísérleti helyszín közül a tormaföldei és a visegrádi parcellasorban figyelhetjük meg leginkább ezt a fajta tendenciát. Azonban azt is meg kell jegyezni, hogy a kontroll parcellák adatsorában mindhárom helyszínen felfedezhető a 1990-es és 2000-es évek közötti időszakban a kísérleti koncepció sajnálatos megsértése.



2. ábra: A vizsgálatba vont három erdőnevelési kísérleti sor átlagmagasság (bal oldal) és átlagátmérő (jobb oldal) adatainak alakulása a kor függvényében (a fekete vonal a genetikai mintavétel idejét jelöli)

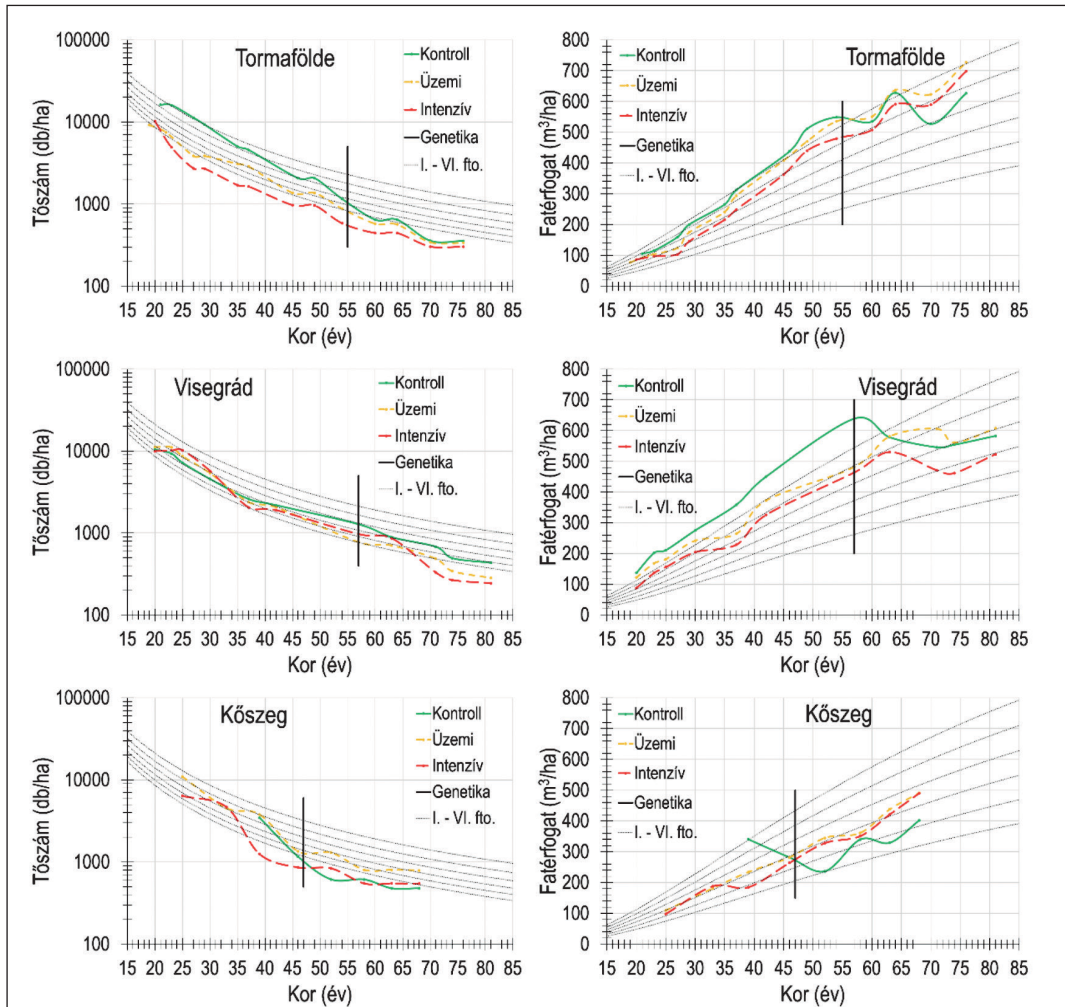
Figure 2: The range of the average height (left side) and average diameter (right side) data of the three trials by plots (control: green line, intensive thinning: red line and common/traditional thinning: yellow line; the black line indicates the time of genetic sampling)

### Tormafölde

Az erdőnevelési kísérlet kezdete 1965-67., akkor 20-22 éves állományban alakítottak ki öt parcellát, melyekből háromban végeztünk genetikai mintavételezést 2000-ben. Fatermési vizsgálatok éve a kiűzés után 1968., 1972., 1975., 1981., 1982., 1991., 1995., 2000., 2006., 2010., 2016., 2021.

Az átlagmagassági adatok folyamatos növekedést mutatnak, 40 éves kortól stabilan az I. fatermési osztály környékén. A bükk elegyaránya 90% feletti. Az átlagátmérő és tőszám adatok tökéletesen mutatják a három kiválasztott parcella szerkezeti különbségét, miszerint a kontroll parcella rendelkezik a legnagyobb tőszámmal, legkisebb átlagátmérő mellett, az intenzív parcella pedig a legkisebb tőszámmal, legnagyobb átlagátmérő mellett. A fatérfogat adatok a genetikai mintavétel, a 2000-es

évek elejéig szintén az elvárt különbségeket hozzák, legjelentősebb a fatérfogat a kontrollban, legkisebb az intenzívben, azonban ekkor egy sematikus gyérítéssel a kontroll parcellából eltávolították a korábban felhalmozódott alá és közbeszorult egyedek egy részét. Ekkor a kontroll fatérfogata az üzemi kezelés alá esett vissza, majd egy újabb nem tervszerű beavatkozással tovább gyérítették a kontrollt, teljesen eltávolítva a nem kívánatos alá- és közbeszorult, kis átmérőjű egyedeket, ezáltal a kontroll fatérfogata lett a legkisebb, tőszáma pedig elérte az üzemihez hasonló mértéket.



3. ábra: A vizsgálatba vont három erdőnevelési kísérleti sor tőszám adatai (bal oldal) és a fatérfogat (jobb oldal) változása a kor függvényében (a fekete vonal a genetikai mintavétel idejét jelöli)

Figure 3: The data of the number of trees per hectare (left side) and the change in timber volume (right side) of the three trials by plots (control: green line, intensive thinning: red line and common/traditional thinning: yellow line; the black line indicates the time of genetic sampling)

## Visegrád

Az erdőnevelési kísérlet kezdete 1963., az akkor 20 éves állományban alakítottak ki öt parcellát, melyekből háromban végeztünk genetikai mintavételezést 2000-ben. Fatermési vizsgálatok éve a kiűzés után 1966., 1968., 1972., 1980., 1985. (itt kimaradt két tervezett felvételezés), 2000., 2006. (szintén kimaradt egy felvételezés), 2014., 2017., 2024. Az elemzéseket nehezíti, hogy a bükk elegyaránya a kísérlet kezdetén 45-65%, mely 2000-re is csak 60-65%-ra nő az intenzív és kontroll területen, míg az üzemi parcellában ekkorra elérte a 90%-ot. Emellett a kontroll parcellában 2014-re jelentős széldöntéssel egy nagy méretű lék alakult ki, kb. 20%-os záródáshiányt okozva.

Az átlagmagassági adatok folyamatos növekedést mutatnak, stabilan a II. fatermési osztály környékén. A kontroll parcellát ért széldöntés megmutatkozik a magassági adatokon is, ekkor a felső szintből kieső egyedek hiánya jelentősen lecsökkenti az átlagmagasságot, mely korábban inkább termőhelyi okokból magasabb volt, mint az intenzív vagy üzemi parcellában. Az átlagátmérő adatok nem mutatják az ideális erdőnevelési sorban elvárt adatokat a kísérletben egészen 2014-ig, aminek az oka az elegyességben keresendő. A bükk inkább felső szintű, nagy átmérőjű fákból áll, míg az elegyek alkotják inkább a kisebb átmérő kategóriákat. A lék kialakulásától kezdve az átmérő adatok ideálisnak tekinthetők. A fatérfogat adatok a genetikai mintavételig, 2000-ig mutatják az ideális nevelési sort. A nevelési sorban 2017-ben történt egy újabb beavatkozás, ekkor már örökerdő üzemmódban kezelve, kifejezetten az újulat megsegítését célozva, tovább csökkentve a fatérfogatot.

## Kőszeg

Az erdőnevelési kísérlet kezdete 1966., az akkor 13 éves állományban alakítottak ki öt parcellát, melyekből háromban végeztünk genetikai mintavételezést 2000-ben. Fatermési vizsgálatok éve a kitűzés után 1968., 1975., 1979., 1983., 1986-87., 1993. (itt kimaradt egy tervezett felvételezés), 2000., 2006., 2012., 2016., 2021. A kontroll parcella a kezdetektől csak a kitűzött parcella négy sarkában kialakított mintaterületeken került felvételezésre, mely adatok is csak 1993-tól állnak rendelkezésre. 2000-től váltottak teljes felvételre, mely nehezíti az adatsorok értelmezését.

Az átlagmagassági adatok folyamatos növekedést mutatnak, 40 éves kortól stabilan a III. fatermési osztály környékén. A bükk elegyaránya 90-95%. Az átlagátmérő és tőszám adatok tökéletesen mutatják az üzemi és intenzív parcella szerkezeti különbségét, miszerint az üzemi parcella rendelkezik a nagyobb tőszámmal, kisebb átlagátmérő mellett, az intenzív parcella pedig a legkisebb tőszámmal, legnagyobb átlagátmérő mellett. Itt a kontroll sajnos nem nyújtja az elvárt adatokat. Valószínűleg az 1990-es évek előtt még ideális kontroll szerkezetű volt ez a parcella. A fatérfogat adatok az üzemi és intenzív parcellában az elvárás szerint mutatják az intenzív parcella csökkent fatérfogatát. A kontrollnál az 1993-as magas fatérfogat adat mutathatja, hogy valószínűleg előtte is meghaladta a fatérfogata a többi parcelláét, azonban a 2000-es évektől két, nem tervezett, erőteljes gyérítés hatására a parcella a továbbiakban értékelhetetlenné vált.

## A genetikai diverzitás mintázata

Az alkalmazott öt nukleáris SSR marker közül három kimagasló polimorfizmust mutatott. A legtöbb allélvariánst a teljes mintasoron az FCM5-ös marker adta ( $N_a=49$ ), amelyet 40-40 megfigyelt allélva-



riánssal az FS1-03-as és az FS1-25-ös markerek követtek. Az FS1-15-ös marker esetében 22 allélváltozatot rögzítettünk a teljes mintasoron. Az említett négy markertől változatosságában jelentős mértékben elmarad az FS3-04-es marker, amely csak négy allélvariánssal jelent meg az elemzésben. Az alkalmazott öt marker összességében megfelelő felbontással rendelkezett az egyedi szintű genetikai azonosításhoz, azonos allélkombinációval rendelkező minták nem voltak kimutathatóak.

Az allélgyakoriság értékekből levezethető diverzitási paramétereket a 2. táblázat foglalja össze, elsőként parcellánkénti bontásban. A három vizsgált helyszín közül a kőszegi állomány parcellái rendelkeznek a legnagyobb diverzitási mutatókkal minden számított paraméter esetében. A tormaforde és a visegrádi parcellák az alap diverzitási adatok alapján egymáshoz közelebb állnak, Tormaforde esetében magasabb értékekkel. A fixációs index (F) csak a Kőszeg üzemi és kontroll parcelláján vesz fel 0 közeli értéket, amely az egyensúlyi állapotot jelzi. A többi parcellán homozigóta többlet jelzett a különböző mértékű, pozitív irányú eltolódás (Kőszeg intenzív 0,11 – Tormaforde intenzív 0,26). A legmagasabb homozigóta többlet mindhárom helyszínen az intenzív gyérítéssel kelet parcellán figyelhető meg.

A parcellatípusok szerinti bontásban, a három kísérleti helyszínen más-más trendek figyelhető meg a kezelések és a diverzitási mutatók kapcsolatában. A kőszegi állomány esetében az allélszám ( $N_a$ ) és az egyedi allélok száma ( $N_p$ ) a kontroll parcellán a legnagyobb, majd az üzemi és intenzív sorrendben csökken. Az allélgyakoriság értékekkel kalkulált mutatók esetében viszont ez a sorrend megfordul és az üzemi gyérítésen átesett parcella mutatja a legnagyobb értékeket, amelyet a kontroll követ, majd az intenzíven gyérített zár. Tormaforde esetében minden alléldiverzitási mutató az üzemi gyérítésű parcellánál veszi fel a legnagyobb értéket, amelyet követ a kontroll, és végül az intenzív parcella (kivéve az  $N_p$  értékét, amely magasabb az intenzív esetében). A visegrádi mintaterület parcelláin ez a tendencia teljesen megfordul és minden mutató esetében a kontroll parcella rendelkezik a legkisebb értékekkel. Az allélszám az intenzív parcellán a legmagasabb, a további mutatók tekintetében pedig az üzemi parcella mutatta a legnagyobb értékeket.

2. táblázat: A vizsgálatba vont három erdőnevelési kísérleti sor genetikai diverzitásának mutatói öt nukleáris mikroszatellit marker átlaga alapján (ahol N: mintaszám,  $N_a$ : allélszám,  $N_e$ : effektív allélszám,  $N_p$ : egyedi allélok száma,  $H_o$ : megfigyelt heterozigócia,  $H_e$ : elvárt heterozigócia, F: fixációs-index)

Table 2: Main genetic indices of three forestry experimental rows included in the study in the mean of five nuclear microsatellite markers (where N: number of samples,  $N_a$ : allele number,  $N_e$ : effective allele number,  $N_p$ : number of private alleles,  $H_o$ : observed heterozygosity,  $H_e$ : expected heterozygosity, F: fixation index)

| Kísérleti parcella  | N     | $N_a$ | $N_e$ | $N_p$ | $H_o$ | $H_e$ | F    |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Kőszeg üzemi        | 46,20 | 15,40 | 6,89  | 2,20  | 0,75  | 0,80  | 0,05 |
| Kőszeg intenzív     | 49,40 | 15,20 | 6,39  | 0,60  | 0,68  | 0,78  | 0,11 |
| Kőszeg kontroll     | 46,40 | 16,00 | 5,00  | 2,80  | 0,70  | 0,72  | 0,03 |
| Tormaforde üzemi    | 49,25 | 14,00 | 5,47  | 1,00  | 0,59  | 0,73  | 0,17 |
| Tormaforde intenzív | 47,50 | 11,00 | 4,50  | 0,80  | 0,48  | 0,65  | 0,26 |
| Tormaforde kontroll | 51,25 | 12,75 | 5,30  | 0,40  | 0,59  | 0,70  | 0,14 |
| Visegrád üzemi      | 45,00 | 11,50 | 4,95  | 0,60  | 0,56  | 0,67  | 0,13 |
| Visegrád intenzív   | 43,00 | 11,75 | 4,16  | 0,60  | 0,51  | 0,65  | 0,18 |
| Visegrád kontroll   | 45,00 | 10,80 | 4,41  | 0,40  | 0,55  | 0,69  | 0,15 |



Az állományok szintjén is elvégeztük a diverzitási paraméterek értékelését, a parcellák összesített adatsorának elemzésével. A 3. táblázatban összefoglalva látható, hogy az alléldiverzitási paraméterek szempontjából a legnagyobb változatosságot Kőszeg állománya képviselte, amelyet a Tormafölde, és még alacsonyabb értékekkel a Visegrád állománya követett. A Shannon-Weaver diverzitási index ( $I$ ) ugyanezt a sorrendet erősíti meg. A kőszegi állomány adatai általánosan magas genetikai diverzitásra utalnak, szemben a másik két állománnyal, amelyek jól elkülönülnek és egymással nagyobb hasonlóságot mutattak. Az egyedi allélok ( $N_p$ ) markerenkénti száma a kőszegi mintasoron kimagasló értéket mutat a másik két állományhoz képest (4. táblázat). Az alkalmazott markerek közül az FS3-04 nem volt alkalmas egyedi allélok kimutatására az alacsony felbontóképessége miatt. A fixációs index ( $F$ ) az összesített adatsorokon is csak a Kőszeg esetében utal egyensúlyi helyzetre, míg a másik két állománynál homozigóta többlet figyelhető meg. A megfigyelt heterozigócia ( $H_o$ ) alacsonyabb értékei az elvárthoz képest ( $H_e$ ) szintén utalhatnak az alkalmazott markerek egyedi sajátosságaira is (esetleges nullallélokra), bár a kőszegi adatsort ezt nem támasztja alá.

3. táblázat: A három kísérleti helyszín genetikai diverzitási mutatóinak összesített elemzése az alkalmazott öt mikroszatellit marker átlagában (ahol  $N$ : mintaszám,  $N_a$ : allélszám,  $N_e$ : effektív allélszám,  $N_p$ : egyedi allélok száma,  $H_o$ : megfigyelt heterozigócia,  $H_e$ : elvárt heterozigócia,  $F$ : fixációs-index,  $I$ : Shannon-Weaver-index)

Table 3: Main genetic indices of the three trials in the mean of the five applied microsatellite markers (where  $N$ : number of samples,  $N_a$ : allele number,  $N_e$ : effective allele number,  $N_p$ : number of private alleles,  $H_o$ : observed heterozygosity,  $H_e$ : expected heterozygosity,  $F$ : fixation index,  $I$ : Shannon-Weaver index)

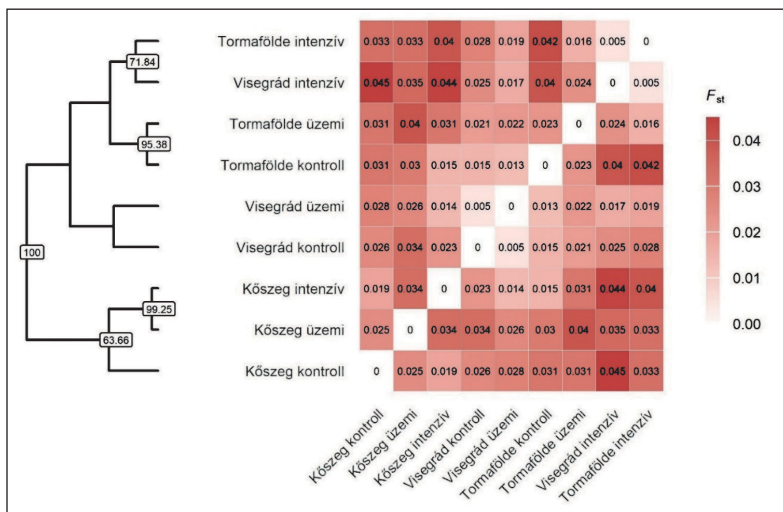
|            | $N$   | $N_a$ | $N_e$ | $N_p$ | $H_o$ | $H_e$ | $UH_e$ | $F$  | $I$  |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|------|
| Kőszeg     | 142   | 24,6  | 6,834 | 8,4   | 0,706 | 0,78  | 0,783  | 0,08 | 2,18 |
| Tormafölde | 147,8 | 18,8  | 5,762 | 3,2   | 0,606 | 0,735 | 0,737  | 0,17 | 1,93 |
| Visegrád   | 133   | 16,2  | 4,825 | 2,2   | 0,567 | 0,702 | 0,704  | 0,16 | 1,80 |

A parcellánkénti bontásban elvégzett AMOVA alapján a molekuláris variancia 97%-ban a populációkon belüli változatosságból fakad és csak 3%-ra tehető a parcellák, mint populációk közötti különülést mértéke. Ugyanakkor az egyedek között egy 15%-os variancia is kimutatható volt, amely jelzi, hogy az adatsoron belül van valamiféle strukturálódás. Ennek a belső struktúrának az eredetét regionális szinten is elvégzett varianciaanalízissel ellenőriztük az állományok összesített adatsorán. Ebben az esetben az AMOVA csupán 2%-os genetikai különülést jelzett a populációk között, míg a fennmaradó 98%-os egyedi variancián belül szintén kimutatható volt egy 16%-os variancia az egyedek közötti szinten. Ez arra enged következtetni, hogy a kirajzolódó struktúráért felelhet a parcellák egyedi jellegzetessége is. A populációk páronkénti összehasonlításában a kőszegi állomány különül el legjobban a visegráditól ( $F_{st} = 0,026$  értékkel), a Kőszeg–Tormafölde közötti különülést  $F_{st}$  értéke 0,017, illetve a Tormafölde és a Visegrád különülése 0,012 értéket vesz fel. A kezelések szerinti páronkénti AMOVA elemzésből számított  $F_{st}$  értékek alakulását a 2. ábra mutatja be, kiegészítve a parcellák genetikai mintázatának struktúráját szemléltető UPGMA dendrogrammal.

4. táblázat: Az egyedi allélok ( $N_p$ ) számának alakulása markerenként a három vizsgált állományban  
 Table 4: Number of private alleles ( $N_p$ ) detected in the three sites

|        | Visegrád | Tormafölde | Kőszeg |
|--------|----------|------------|--------|
| FS1-03 | 0        | 8          | 15     |
| FS3-04 | 0        | 0          | 0      |
| FS1-15 | 1        | 2          | 2      |
| FS1-25 | 5        | 2          | 11     |
| FCM5   | 5        | 4          | 14     |

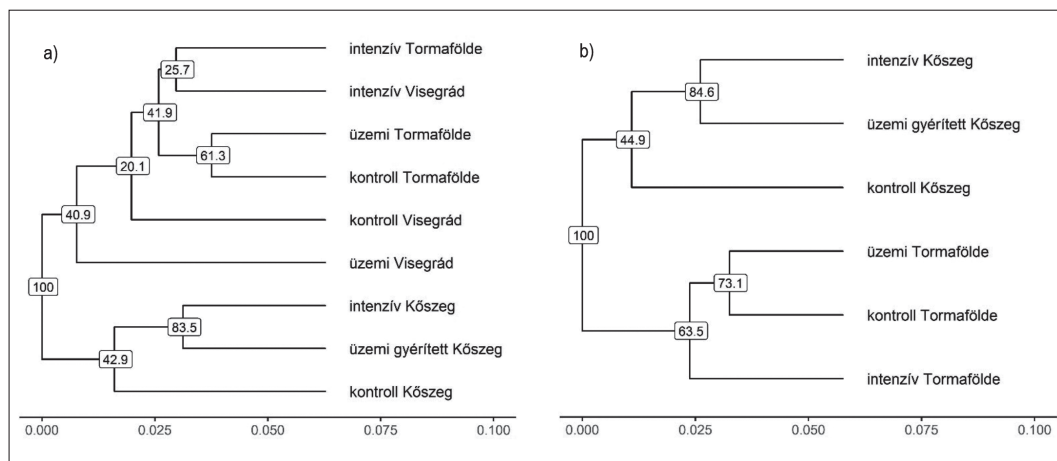
A Nei-féle genetikai távolságmátrix alapján szerkesztett UPGMA dendrogramon a három állomány genetikai elkülönülését ábrázoltuk parcellánkénti bontásban (5.a ábra). Az ábrán a Kőszeg parcellái egy külön klasztert alkotva jól elkülönülnek, míg a Visegrád intenzív parcellája a Tormafölde parcellái alkotta csoportban jelenik meg. A Visegrád adatsorai nélkül megismételve az elemzést az 5.b ábrán látható, hogy a Kőszeg és a Tormafölde parcellái két elkülönülő klasztert alkotnak. A két csoporton belül a Tormafölde esetében az üzemi és a kontroll parcella mutat nagyobb genetikai hasonlóságot, míg a Kőszeg parcelláinál a kontroll különül el jobban a másik két kezeléstől.



4. ábra: A vizsgált bükk nevelési parcellák genetikai elkülönülése az AMOVA elemzésből származó páronkénti  $F_{st}$  értékekkel és az ezekből szerkesztett UPGMA dendrogrammal (elágazásokban a támogatott bootstrap értékek)  
 Figure 4: Genetic separation of the study plots based on the  $F_{st}$  values derived from AMOVA visualized on a heatmap and with a UPGMA dendrogram (bootstrap values in the nodes)

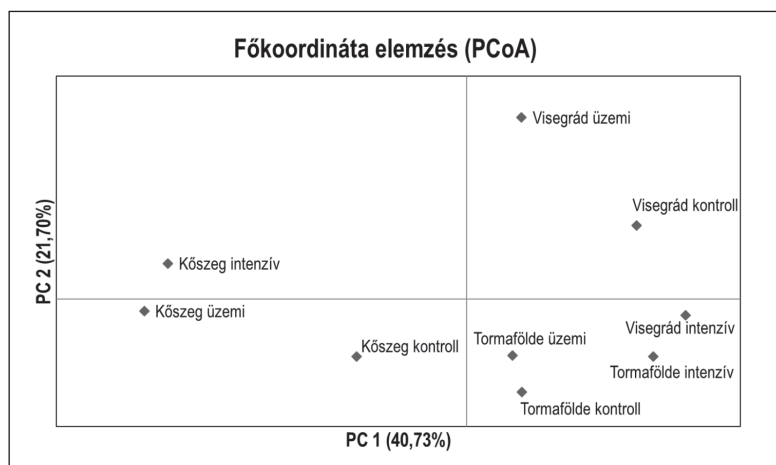
Végezetül, a Nei-féle genetikai távolságból kiindulva egy főkoordináta elemzéssel (PCoA) is áttekintettük a genetikai mintázat alakulását a parcellák között. Az analízis eredménye összhangban áll az AMOVA  $F_{st}$  értékeiből, illetve szintén a Nei-féle genetikai távolságokból, de UPGMA-klaszterezéssel levezethető elkülönüléssel. A variancia megoszlásáért dominánsan (40,73%-ban) az első koordináta tömörített változók (PC 1) felelnek, a második komponens (PC 2) 21,70%-ban, míg a harmadik

komponens (PC 3) 15,86%-ban járul hozzá a varianciához. A parcellák egymáshoz viszonyított helyzetét az első két komponens mentén ábrázolva (6. ábra) látható, hogy az első főkomponens mentén a Kőszeg parcellái különülnek el, a második főkomponens leválasztja a Visegrád üzemi és kontroll parcelláját (illetve a Kőszeg intenzív parcelláját is). Térben a harmadik tengely (PC 3) mentén a Tormafölde három parcellája, illetve a Kőszeg és a Visegrád üzemi parcellái kerülnek egy térfélre és mutatnak elkülönülést a többi parcellától (ábra itt nem közölve).



5. ábra: A Nei-féle genetikai távolságból származtatott UPGMA-dendrogramok (elágazásban a bootstrap értékekkel 1000 replikáció után). Az ábra a) részén a három helyszín három parcellájának genetikai csoportosulása látható, a b) részen a Visegrád nélküli elemzés eredménye

Figure 5: UPGMA dendrogram derived from Nei's genetic distance matrix (bootstrap values in the nodes after 1000 repetitions). Picture a) genetic clustering of the plots of the three experimental trials and picture b) results without the Visegrád site



6. ábra: A Nei-féle genetikai távolságmátrixból levezetett főkoordináta elemzés (PCoA) eredménye a vizsgált kísérleti helyszínek és parcellák vonatkozásában.

Figure 6: Principal coordinate analysis (PCoA) derived from the Nei's genetic distances representing the genetic separation of the experimental plots

## DISZKUSSZIÓ

A három vizsgálatba vont, hosszúlejárátú bükk erdőnevelési sor nem mutatott egységes képet az elemzések során sem a genetikai mintázat tekintetében, sem a fatermési szempontú elemzésekben. A genetikai diverzitás változására vonatkozó előzetes feltételezés, vagyis a diverzitás csökkenése a gyérités hatására, nem igazolódott be, és a diverzitás alakulásában is csak két állományra vonatkozóan (Tormafölde és Kőszeg) volt megfigyelhető némileg hasonló tendencia. A fatermési adatok fafajra vonatkoztatott egységes és együttes értékelését pedig több tényező is megakadályozta. Az adatsorokból látható, hogy a három kísérleti helyszín merőben más állományösszetétellel rendelkezett, és a kísérlet elrendezése, illetve fenntartása során is más-más paraméterek befolyásolták az állományok szerkezetének alakulását. Volt olyan helyszín, ahol az induló tőszám számottevően eltért a parcellák között, például Tormafölde esetében, miközben Kőszegen a kontroll parcella felvételi adatsora nem teljes, ráadásul Kőszeg korban is elmarad a másik két helyszín mögött, nehezítve az összevont értékelést. A harmadik fontos eltérés az elegyesség mértéke, amely a visegrádi állományban kifejezetten magas, 60% körüli értéken mozog, a kezelt bükkösökre egyébként jellemző 80-90%-os mértékkel szemben.

Mindezekhez az anomáliákhoz társult további torzító hatásként a tartamkísérlet fenntartása szempontjából is kritikus 1990-es és 2000-es évek időszaka. Mindezek ellenére a bükk tartamkísérletek voltak azok, amelyek még legnagyobb mértékben átvészelték ezt az átmeneti időszakot, és így ma már 80 év feletti állományokról rendelkezünk értékelhető adatsorokkal.

Bár a 2000-ben célul kitűzött genetikai vizsgálat eredeti formájában (a genetikai mintázat és diverzitás izoenzim markerekkel történő feltérképezése) végül nem valósult meg, azonban 10 évvel később egy helyettesítő DNS vizsgálatra sor került. Az alkalmazott öt mikroszatellit marker felbontása már elegendőnek bizonyult az egyedek ujjlenyomat szintű azonosításához, azonban az akkoriban hozzáférhető és alkalmazott markerek mintázata sajnos nem összevethető a jelenleg elérhető, legkiterjedtebb kutatás genetikai adataival (Höhn et al. 2021). Mégis, az itt közölt adatok értékes adalékokkal szolgálnak a kísérletek értékeléséhez több szempontból is. Egyrészt regionális szinten bepillantást nyerhetünk a bükköseinkben tapasztalható genetikai mintázatok különbségeibe. Ez részben összefüggésben állhat a különböző földrajzi régiókban, illetve tengerszint feletti magasságokban előforduló állománytípusok különbségeivel is. Így jelentős eltérés tapasztalható a kőszegi szubalpin jellegű állomány, valamint a tormaföldei, dombvidéki, illír jegyeket mutató állomány genetikai mintázatában, noha azok földrajzilag nem túl távol helyezkednek el. A különbség még szembeötlőbb, ha a Visegrádi-hegység bükkösének genetikai mintázatát vesszük alapul. Ez az állomány mind florisztikai szempontból, mind a termőhely tekintetében eltér a kőszegi és a zalai állományoktól. Ahogy azt a korábbi, nemzetközi vizsgálatból láthattuk, a kőszegi állomány két genetikai klaszter (az alpesi és a balkáni) találkozási zónájába esik, ami vélhetőleg magyarázatot ad a magas diverzitásra (a két genetikai típus találkozási és keveredési zónájában az allélváltozatok „feldúsulásával”). A zalai állomány esetében hasonló hatások érvényesülhetnek. Ezzel szemben a visegrádi állomány vélhetőleg más genetikai eredettel rendelkezhet. A visegrádi mintaterület parcelláin mért alacsony diverzitási mutatók részben eredhettek a más állománystruktúrából is (nagyobb elegyarány, kisebb tőszám), illetve felvetődhet a korábbi, antropogén hatások nyoma is. Bár a bükköseink esetében nem feltételezzük, hogy a múltban a tölgy állományainkhoz hasonlóan jelentős mértékben történt volna idegen származású szaporítóanyagból felújítás, de az állományokban, főként a faszénégetés kapcsán, erőteljes emberi beavatkozások történtek (Mátyás 2002). Ezeket a történeti antropogén

hatásokat szintén érdemes szem előtt tartani, és a jövőbeni vizsgálatok tervezésekor a terület kiválasztásakor ezt a szempontot is mérlegelni.

A gyérítési beavatkozások szerinti értékelés mind a fatermési paraméterek alakulása, mind a genetikai szerkezetre gyakorolt hatás szempontjából, felemás eredményeket hozott. Általánosan elmondható, hogy a fatermés alakulása az 1980-as évekig a kísérleti koncepció mentén, vagyis a különféle erélyű gyérítések hatásának megfelelően, jól értékelhető volt mindhárom kísérleti soron. A 2000/2001 fordulóján vett genetikai merítésben tehát elméletben mindhárom helyszínen egyformán érintett volt már a kontroll parcella a beavatkozással. A genetikai diverzitást leíró paraméterek alakulásában csupán két egységes megállapítás tehető a három kísérleti helyszín értékeléséből: 1) egyik helyszín esetében sem jelenthető ki, hogy a kontroll parcellák rendelkeztek a legmagasabb diverzitási paraméterekkel, illetve 2) mindhárom helyszínen az intenzív gyérítéssel kezelt parcellán volt kimutatható a legmagasabb pozitív értékű fixációs index, amely homozigóta többletet jelez.

A három vizsgált helyszín közül a Visegrád parcellasora mutatja a legtöbb anomáliát. A genetikai diverzitás alakulásában itt teljesen ellentétes trendek fedezhetők fel, a másik két helyszínnel összehasonlítva, ami arra hívja fel a figyelmet, hogy a visegrádi parcellasor erdőnevelési adatait is fenntartással érdemes kezelni.

A kőszegi és a tormaföldei parcellákon ugyanakkor a genetikai diverzitás más összefüggést mutat a gyérítés hatásával, bár a tendencia itt sem tekinthető teljesen egységesnek. Az azonban egyértelműen megfigyelhető, hogy a kontroll parcella diverzitási mutatói nem magasabbak a kezelt parcelláknál, hanem épp ellenkezőleg, az üzemi mértékű gyérítésen átesett parcellák rendelkeznek a magasabb allélváltozatossági mutatókkal és az abból származtatott heterozigóciával, hasonlóan a már említett nemzetközi kutatásban megfigyeltékhez (Buiteveld et al. 2007). A ritka, egyedi allélok számának csökkenése csak a kőszegi kísérletben volt megfigyelhető. Az itt nyert eredmények felvetik annak a lehetőségét, hogy a szakszerű és fenntartható módon végzett erdőnevelési beavatkozásoknak pozitív hatása is lehet egy bükk állomány genetikai szerkezetének alakulására.

A kísérletek további fenntartása során indokolt lehet a genetikai monitoring szemléletének érvényesítése is. Mivel a kísérletek belépnek az idős állomány fázisába, ezért a parcellánkénti főszám kezelhető mértékeket ölt egy intenzív genetikai mintázás kivitelezéséhez is. Az itt bemutatott genetikai vizsgálat fontos konklúziója ugyanakkor, hogy az alkalmazott markerek bővítésre (vagy részben cserére) szorulnak, hogy a Höhn et al. (2021) kutatásban közölt, európai léptékű genetikai mintázat térképpel is összhangba hozható eredményeket kapjunk. Tekintettel arra, hogy a kísérleti helyszíneken jelenleg egyéb ökológiai kutatások (például avarvizsgálat, széntartalom mérése stb.) is folynak, a kísérletek fenntartását és újragondolását feltétlenül szükségesnek tartjuk. A jelenleg rendelkezésünkre álló három kísérlet adatsorából azonban egyelőre célszerűbbnek tűnik a három helyszínt önállóan, külön-külön értékelni és a helyi gazdálkodói célkitűzéseket figyelembe véve folytatni a kísérletek fenntartását és értékelését. Ilyen egyedi szempont lehet például a visegrádi kísérletsor esetében a közeli Erdőanyai-völgyben, örökerdő koncepció mentén kezelt Madas-féle kísérleti tömbbel (Madas 1956) való összevetés, a hagyományos üzemi parcellák átalakításának jövőbeni követése. A Tormafölde kísérleti sora pedig a vétyemi ősbükkös egyfajta intenzíven kezelt kísérleti kulcsoportja lehet a jövőben. Az erdőnevelési kísérletek további fenntartását és értékelését ugyan a kontroll parcellákon bekövetkezett belenyúlás megnehezítheti, ugyanakkor új értékelési cél lehet az is, hogy a kontroll parcellákon a megkésett, nem megfelelő időben elvégzett beavatkozás szemszögéből vizsgáljuk.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozunk mindenekelőtt az érintett erdőgazdaságoknak, a hosszúlejárátú tartamkísérletek megőrzéséért és fenntartásában nyújtott segítségükért. Köszönet illet minden egykori ERTI-s kollégát, aki az évtizedek során hozzájárult az adatsorok folytonosságának biztosításához. Szeretnénk külön köszönetünket kifejezni Prof. Dr. Mátyás Csabának és Dr. Führer Ernőnek, egykori ERTI főigazgatónak, amiért felhívták a figyelmünket a nevelési sorokban rejlő lehetőségekre és értékekre. Végezetül, köszönettel tartozunk a két közreműködő Lektornak, akik a kézirat véleményezése során számos hasznos megjegyzéssel és információval segítették a cikk létrejöttét.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bruegmann T., Fladung M. & Schroeder H. 2022: Flexible DNA isolation procedure for different tree species as a convenient lab routine. *Silvae Genetica* 71: 20–30. <https://doi.org/10.2478/sg-2022-0003>
- Buiteveld J., Vendramin G.G., Leonardi S., Kamer K. & Geburek T. 2007: Genetic diversity and differentiation in European beech (*Fagus sylvatica* L.) stands varying in management history. *Forest Ecology and Management* 247: 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.04.018>
- Czúcz B., Gálhidy L. & Mátyás Cs. 2013: A bükk és a kocsánytalan tölgy elterjedésének szárazsági határa. *Erdészettudományi Közlemények* 3(1): 39–53.
- Csepányi P., Magassy E., Kontor Cs., Szabó Cs., Szentpéteri S., Németh R. et al. 2017: A 2014. decemberi jégkár okai és következményei a Pilisi Parkerdő ZRt. által kezelt erdőállományokra. *Erdészettudományi Közlemények* 7(1): 25–41. <https://dx.doi.org/10.17164/EK.2017.002>
- 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/BF0022093>
- Frydl J., Novotný P., Fennessy J. & von Wühlisch G. 2010: Genetic resources of beech in Europe – current state. Implementing output of COST Action E 52 Project, „Evaluation of beech genetic resources for sustainable forestry” (2006–2010). (Communicationes Instituti Forestalis Bohemicae Vol. 25.), Forestry and Game Management Research Institute, Strnadý, Czech Republic.
- Führer E., Edelényi M., Horváth L., Jagodics A., Jereb L., Kern Z., Móring A., Szabados I. & Pödör Z. 2016: Effect of weather conditions on annual and intra-annual basal area increments of a beech stand in the Sopron Mountains in Hungary. *Időjárás* 120(2): 127–161.
- Gálos B. & Somogyi Z. 2017: Új klímascenáriók – fellélegezhetnek bükköseink? *Erdészettudományi Közlemények* 7(2): 85–98. <https://dx.doi.org/10.17164/EK.2017.006>
- Horváth A., Mátyás Cs. 2014: Növedéksökkenés előrevetítése egy bükk származási kísérlet alapján. *Erdészettudományi Közlemények* 4 (2): 91–99.
- Höhn M., Major E., Avdagić A., Bielak K., Bosela M., Coll L. et al. 2021: Local characteristics of the standing genetic diversity of European beech with high within-region differentiation at the eastern part of the range. *Canadian Journal of Forest Research* 51(12): 1791–1798. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0413>
- Illés G. & Mórincz N. 2022: Hazai fafajok klímaanalóg területeinek vizsgálata a klímaváltozás tükrében. *Erdészettudományi Közlemények* 12(2): 91–112. <https://dx.doi.org/10.17164/EK.2022.06>
- Janik G., Hirka A., Koltay A., Juhász J. & Csóka Gy. 2016: 50 év biotikus kárai a magyar bükkösökben. *Erdészettudományi Közlemények* 6(1): 45–60. <https://dx.doi.org/10.17164/EK.2016.005>
- Kamvar Z.N., Tabima J.F. & Grünwald N.J. 2014 Poppr: an R package for genetic analysis of populations with clonal, partially clonal, and/or sexual reproduction. *PeerJ* 2:e281. <https://doi.org/10.7717/peerj.281>
- Kollár T. & Borovics A. 2021: A magyarországi hosszú lejárátú tartamkísérleti hálózat fenntartásának korszerű irányelvei, adatfeldolgozási módszerei és legfontosabb eredményei. *Erdészettudományi Közlemények* 11(1-2): 95–114. <https://dx.doi.org/10.17164/EK.2021.006>



- Kollár T. 2023: Bükk (*Fagus sylvatica*) állományok fatermési függvénye és táblája az ERTI tartamkísérleti hálózatának adatbázisa alapján. Erdészettudományi Közlemények 12(1): 5-29. <https://doi.org/10.17164/EK.2022.01>
- Madas L. 1956: Ígéretes fákra alapított fatermesztési terv a visegrádi 77/A erdőrészen. Országos Erdészeti Főigazgatóság, Budapest.
- Magri D., Vendramin G.G., Comps B., Dupanloup I., Geburek T., Gömöry D., et al. 2006: A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. New Phytologist 171: 199-221. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01740.x>
- Mátyás Cs. 2002: Antropogén hatások. In: Mátyás Cs.: Erdészeti-természetvédelmi genetika. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 267–313 pp.
- Mendlik G. 1974: A visegrádi bükk erdőnevelési sor 5. és 10. éves újrafelvételének eredményei. Erdészeti Kutatások 1973. 69(1): 183–190.
- Mendlik, G., 1976. A bükkösök erdőnevelésének legújabb eredményei. Erdészeti Kutatások 1975. 71(1): 159-165.
- Nei M. 1978: Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. Genetics 89(3): 583-590. <https://doi.org/10.1093/genetics/89.3.583>
- Paffetti D., Travaglini D., Buonamici A., Nocentini S., Vendramin G.G., Giannini R. & Vettori C. 2012: The influence of forest management on beech (*Fagus sylvatica* L.) stand structure and genetic diversity. Forest Ecology and Management 284: 34–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.07.026>.
- Pastorelli R., Smulders J.M.J., Van't Westende W.P.C., Vosman B., Giannini R., Vettori C. & Vendramin G.G. 2003: Characterization of microsatellite markers in *Fagus sylvatica* L. and *Fagus orientalis* Lipsky. Molecular Ecology Notes 3(1): 76–78. <https://doi.org/10.1046/j.1471-8286.2003.00355.x>.
- Peakall P.E. & Smouse R. 2012: GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. Bioinformatics 28(19): 2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
- Peakall R. & Smouse P.E. 2006: GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. Molecular Ecology Notes 6(1): 288-295. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x>
- Piotti A., Leonardi S., Heuertz M., Buiteveld J., Geburek T., Gerber S., Kramer K., Vettori C. & Vendramin G.G. 2013: Within-population genetic structure in beech (*Fagus sylvatica* L.) stands characterized by different disturbance histories: does forest management simplify population substructure? PLOS One 8, e73391. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0073391>.
- R Core Team. 2022: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- Somogyi Z. 2016: Projected effects of climate change on the carbon stocks of European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in Zala County, Hungary. Central European Forestry Journal 62(1): 3–14. <https://doi.org/10.1515/forj-2016-0001>
- Soó R. 1964: A magyar flóra és vegetáció rendszertani-növényföldrajzi kézikönyve. I. kötet, Akadémiai Kiadó, Budapest, 61-63.
- Szakács L. 2022: A tájcsoport erdészettörténeti leírása. In: Führer E. (ed.): Magyarország erdészeti tájai. V. Nyugat-Dunántúl erdészeti tájcsoport. Agrárminisztérium Nemzeti Földügyi Központ, Budapest, 33–42.
- Tanaka K., Tsumura Y. & Nakamura T. 1999: Development and polymorphism of microsatellite markers for *Fagus crenata* and the closely related species, *F. japonica*. Theoretical and Applied Genetics 99: 11–15. <https://doi.org/10.1007/s001220051203>
- Wickham H. 2016: ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>
- Yu G., Smith D.K., Zhu H., Guan Y. & Lam T.T.-Y. 2017: ggtree: an r package for visualization and annotation of phylogenetic trees with their covariates and other associated data. Methods in Ecology and Evolution 8(1): 28–36. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12628>

Érkezett: 2024. október 01.

Közlésre elfogadva: 2025. január 24.



## Pangóvíz

Azok a boldog csapadékos évek! 2014 igazi csapadékból bővelkedő év volt, az országban az 1000 mm feletti értékek sem voltak ritkák. Néhány helyen azonban a túl sok csapadék nem tudott elfolyni, illetve a talaj nem volt képes elnyelni, így pangóvízes területek alakultak ki. Így történt ebben a nemes nyár állományban Buják település közelében is. A kép 2018-ban készült, az állomány teljes pusztulását okozta a közel egy évig tartó vízborítás a területen.

**Fotó és szöveg: Koltay András (SOE ERTI)**

# TALAJVÍZ ÉS A GYÖKÉRZÓNA KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA PÜSPÖKLADÁNY-FARKASSZIGETI MINTATERÜLETEN A 2020–2023 KÖZÖTTI IDŐSZAKBAN

Szabó András<sup>1</sup>, Gribovszki Zoltán<sup>2</sup>, Szolgay Ján<sup>3</sup>, Kalicz Péter<sup>2</sup> és Bolla Bence<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológiai és Erdőművelési Osztály

<sup>2</sup>Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet

<sup>3</sup>Szlovák Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Táj- és Vízgazdálkodási Tanszék, Pozsony, Szlovákia

## Kivonat

Az erdei vegetáció kifejezetten érzékeny a gyors környezeti változásokkal szemben. Az alföldi erdőállományok esetében ilyen változások lehetnek a több évtizede zajló talajvízszint-süllyedés, illetve az aszályos időszakok hosszának növekedése. Az említett negatív hatásoknak különösen kitett püspökladány-farkasszigeti mintaterületünkön négy év azonos időszakában vizsgáltuk az erdőállomány gyökérzete és a talajvízszint közötti kapcsolatot nagy időbeli felbontású talajvízszint és meteorológiai adatokra alapozva. Eredményeink alapján megállapítható, hogy 2021 vegetációs időszakának végére részlegesen, a 2022-es év azonos időszakára pedig teljesen megszűnt a kapcsolat a talajvíz és a gyökérzet közt. Pozitív irányú változást 2023-ban sem tapasztaltunk. Amennyiben ez az állapot hosszabb távon is fennmarad, az kérdéseket vet fel a vizsgált erdőállomány fenntarthatóságával kapcsolatban.

**Kulcsszavak:** talajvíz, gyökérzet, vízhiány, fenntartható erdőgazdálkodás

## INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN GROUNDWATER AND THE ROOT ZONE IN THE PÜSPÖKLADÁNY-FARKASSZIGET STUDY SITE DURING THE PERIOD 2020-2023

## Abstract

Forest vegetation is particularly sensitive to rapid environmental changes. In the case of forest stands on the Great Hungarian Plain, such changes may include the decades-long groundwater level decrease and the increasing length of drought periods. We have investigated the relationship between the root system of the forest stand and the groundwater level over four years at our study site at Püspökladány-Farkassziget, which is particularly exposed to aforementioned negative impacts, using high temporal resolution groundwater level and meteorological data. Our results show that by the end of the 2021 growing season, the connection between groundwater and the root system was partially, and by the same period in 2022, it was completely lost. We did not observe any positive changes in 2023. If this situation persists in the long term, it raises questions about the sustainability of the forest stand under investigation.

**Keywords:** groundwater, root system, water scarcity, sustainable forest management

## BEVEZETÉS

Bár a klímaváltozás negatív hatásai a teljes ökoszisztémát érintik, az erdei vegetáció kifejezetten sérülékeny a gyorsan lezajló meteorológiai változásokkal szemben (Brodribb et al. 2020).

A lezajló folyamatok részeként az éghajlati tényezők globális léptékű megváltozása nagy mértékben és jellemzően negatív módon befolyásolja a hozzáférhető talajvízkészletek mennyiségét és minőségét is (Atawneh et al. 2021), következésképp ezen változások vizsgálata a témakörhöz kapcsolódó kutatások középpontjában áll világszerte (Andualet et al. 2021, Lee et al. 2006, Manna et al. 2016, Obuobie et al. 2012, Szabó et al. 2022, Yadav et al. 2023). Ennek ellenére a növényzet és felszín alatti vízrendszerek közötti kölcsönhatásokra vonatkozó specifikus ismereteink nemcsak regionális, de globális szinten is hiányosak (Tóth 1963).

A talajvízkészletek csökkenése különösen érzékenyen érinti az alföldi erdőgazdálkodókat, mivel a térség kedvezőtlen csapadékviszonyai miatt a térség erdeinek a száraz időszakok alatt vízigényük kielégítése érdekében a talajvízre, mint kiegészítő vízforrásra, kell támaszkodniuk (Ijjász 1939, Magyar 1961), amit Járó (1981) eredményei is megerősítenek. A talajvíz említett szerepe különösen fontos olyan területeken, ahol egyéb – jellemzően talajtani – tényezők is negatív hatást gyakorolnak az adott termőhely hidrológiai viszonyaira. A csapadégmentes időszakok hosszának várható növekedése miatt az ilyen erdőállományok számára a talajvízhez való hozzáférése egyre fontosabbá válik majd a jövőben.

Az erdők és a talajvíz közti lokális kapcsolat megfigyelésének hatékony módja a talajvíz rövid és hosszú távú dinamikájának megfigyelése, ami meteorológiai, geológiai és biológiai tényezők eredőjeként egyértelműen tükrözi az adott terület hidrológia viszonyait, ideértve annak egyensúlyát vagy az egyensúlyi állapot megbomlását is. Ennek vizsgálatára kifejezetten alkalmas a napi talajvízszint-ingadozás és az azon alapuló White-módszer (White 1932), valamint továbbfejlesztett változatainak (Fan et al. 2014, Gribovski et al. 2010, Hou et al. 2023) használata, amelyeket egyszerűségüknek és megbízhatóságuknak köszönhetően rendkívül széles körben alkalmaznak az erdők talajvíz felvételének számítására.

Az elmúlt időszak nagyon száraz és meleg időjárása rendkívül kedvezőtlen hatással volt a szóban forgó erdőállományokra (Bolla et al. 2024), ugyanakkor az kevésbé ismert, hogy ezek a hatások mennyiben változtatták meg az erdők és a talajvíz közti kapcsolat jellegét.

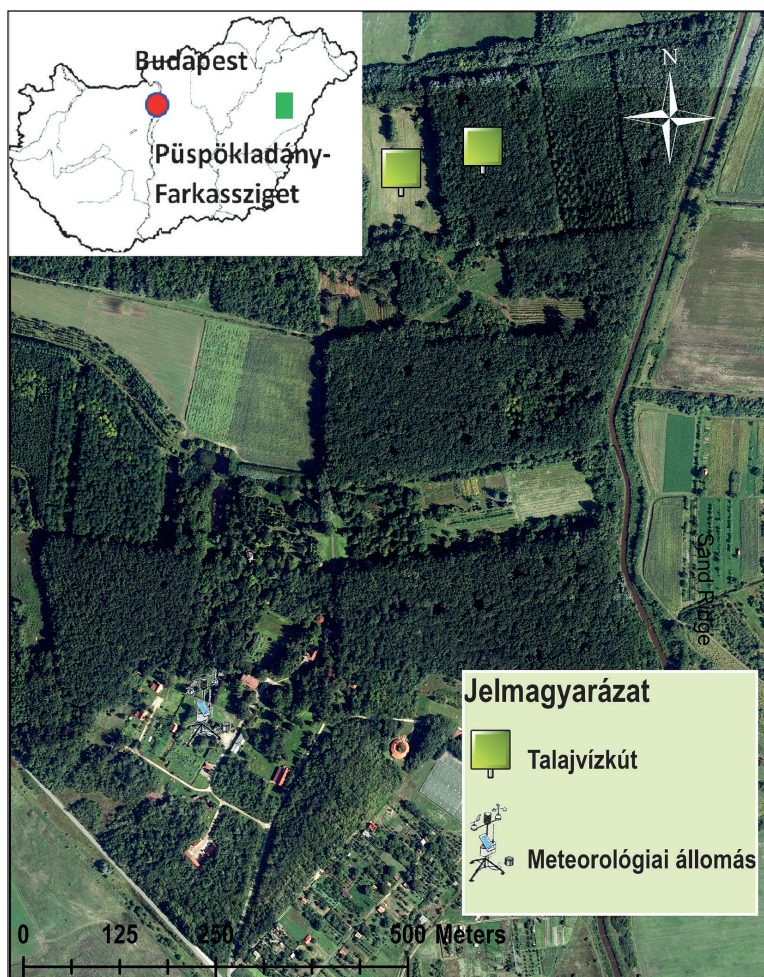
Jelen munkánkban ezen kérdés megválaszolását tűztük ki célunkként a kedvezőtlen termőhelyi adottságokkal rendelkező Püspökladány-Farkasszigeten található mintaterület talajvíz adatainak elemzésével.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### A mintaterület bemutatása

A mintaterület a Tiszántúl középső részén helyezkedik el a Püspökladány melletti Farkasszigeten (1. ábra). A terület éghajlata kontinentális, az éves csapadékmennyiség 340 és 913 mm, az évi középhőmérséklet 9,8 és 12,7 °C között ingadozott az 1991 és 2020 közti időszakban. A terület geológiai szemponttól alluvialis üledékkel feltöltött síkság.





1. ábra: A mintaterület elhelyezkedése  
Figure 1: Location of the study site

A mintaterület egy kaszálóként hasznosított kontroll mintapontból és egy 95 éves kocsányos tölgy állományban található erdei mintapontból áll. A mintapontokon talajvízszint-monitoring kutak kerültek kialakításra 2014 augusztusában, melyekben a furatokat 5 cm átmérőjű alsó részén szűrőzött PVC csővel béleltük. A talajvízszintet a Dataqua Kft., DA-LUB 222 típusú nyomásszondái segítségével mértük 15 percenként, 1 mm-es pontossággal. A kutak fúrásával egy időben talajmintavétel is történt: A felső 1 m-en 20 centiméterenként, majd ez alatt 50 centiméterenként. A talajmintákból a talajtextúra típusa Sik-féle higroszkóposági érték (hy1) alapján került meghatározásra.

Az alapvető meteorológiai paraméterek (hőmérséklet, páratartalom, csapadék, szél sebesség, szélirány, globálisugárzás) egy közeli meteorológiai állomáson a Boreas Kft. (AgroMet) ECO logger 2 típusú adatgyűjtőjével kerültek rögzítésre 10 percenként.

A felhasznált meteorológiai adatokat a SOE ERTI által üzemeltetett közeli meteorológiai állomás szolgáltatta. (Az adatok elérhetőek az eforest.hu honlapon.)

A mért adatok alapján a potenciális evapotranszspiráció a Duna–Posza–Varga–Haszonits módszer (Varga–Haszonits et al. 2014, Varga–Haszonits & Varga 2015), az ariditási index pedig Budyko (1974) egyenlete alapján került kiszámításra. A mintapontok főbb adatait az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A mintapontok fő paramétereit  
Table 1: Main parameters of the sample points

| Mintapont típusa      | Koordináták                      | Magasság (mBf.) | Kúttalp mélysége (mBf.) | Szűrőzés mélysége (mBf.) | Átlagos vízmélység (felszíntől, m) |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Kocsányos tölgy       | É 47°20'29.48"<br>K 21°05'42.16" | 85,78           | 75,25                   | 75,78–74,78              | –7,92 (+/–0,52)                    |
| Kontroll              | É 47°20'26.29"<br>K 21°05'37.46" | 85,83           | 76,80                   | 76,3–75,3                | –6,78 (+/–0,33)                    |
| Meteorológiai állomás | É 47°20'04.53"<br>K 21°05'23.70" | 88,70           |                         |                          |                                    |

A mintaterület közelében, 280 méterre egy belvíz leeresztésére szolgáló csatorna található. Mivel ennek legnagyobb mélysége a területen 83,2 méter (tszf), az a monitoring pontokon nem fejthet ki leszívó hatást.

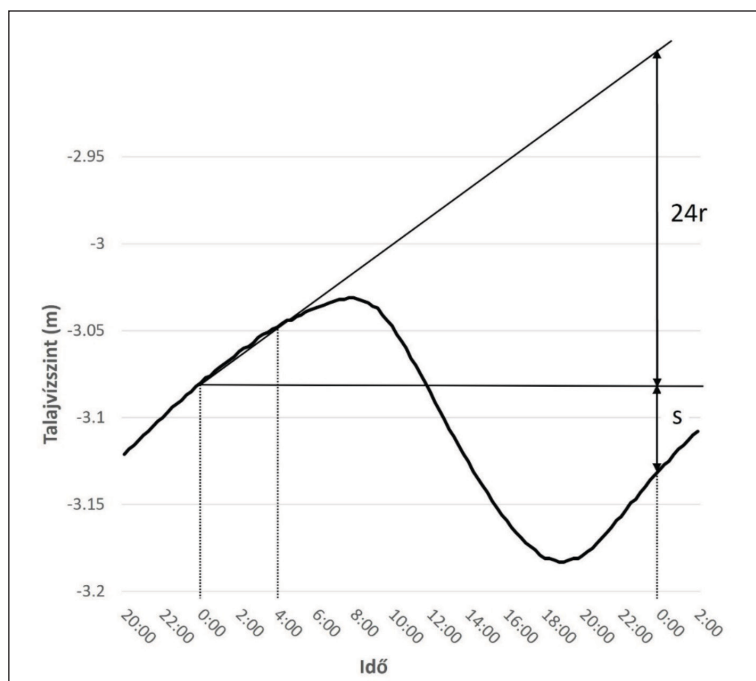
### Talajvíz evapotranszspiráció számítása a White-módszer alapján

A talajvíz-evapotranszspiráció napi mértéke a White-módszer segítségével került meghatározásra (Loheide et al. 2005, White 1932). A módszer feltételezi, hogy a késő éjjeli, kora hajnali időszakban (0-4 óra között) az evapotranszspiráció elhanyagolható mértékű. Ennek következtében a talajvízállás növekedési rátája ebben az időszakban megegyezik a talajvíz utánpótlódásával. A görbéhez ebben az időszakban húzott egyenes iránytangense ( $r$ ) tehát megmutatja az egységnyi idő (pl.: 1 óra) alatti talajvíz-utánpótlódás mértékét. Ezt a rátát 24 órán keresztül meghosszabbítva megkapjuk a napi utánpótlódás mértékét  $24(r)$ . Ehhez hozzáadva a 24 órás időszak alatt bekövetkező talajvízszint-változást ( $s$  érték), illetve az összeget beszorozva a talajtextúrától függő  $S_y$  (fajlagos hozam) változóval megkapjuk a talajvízfelvétel mértékét mm-ben. A módszert a 2. ábra mutatja be szemléletesen.

Az adatok elemzése során azonban megfigyelhető volt, hogy a napi feltöltődés számos esetben nem éjjelkor, hanem későbbi időpontban (esetenként jelentős késéssel) indult el. Ezért a számítási módszert úgy módosítottuk, hogy minden nap a maximális növekedési rátával jellemezhető 4 órás időszakot vettük a visszatöltődés számításának alapjául.

Mivel egy sajnálatos műszaki meghibásodás miatt a 2022-es év vegetációs időszakában csak a július 20-a után mért adatok tekinthetők megbízhatónak, az elemzésre minden évben csak az ez után mért adatokat használtuk fel az összehasonlítás érdekében.





2. ábra: A White módszer sematikus ábrázolása (Gribovski et al. 2010 alapján)

Figure 2: Schematic representation of the White method (based on Gribovskiet al. 2010)

A fentiek ismeretében a talajvízből történő párolgást mm-ben a következőképp számíthatjuk ki:

$$(1) ET_{gw} = S_y(24r + s)$$

ahol:

$ET_{gw}$  – a napi talajvíz evapotranszspiráció (mm),

$S_y$  – a talajra jellemző fajlagos hozam (dimenzió nélküli),

$r$  – a vízutánpótlás hatására bekövetkező elméleti talajvízszint emelkedés óránként (mm)

$s$  – a két egymást követő nap azonos időpontja közti talajvízszint különbség mértéke (mm)

## EREDMÉNYEK

### Meteorológiai paraméterek

A 2022-es rendkívül súlyos aszály Püspökladány térségét is érintette, a vizsgált évek közül ez volt a legszárazabb (2. táblázat.), de az átlagos csapadékviszonyokhoz képest már a megelőző, 2021-es év is igen száraznak számított. Ezzel egyidőben a potenciális evapotranszspiráció értéke is jelentősen megnőtt, így az említett két év feltételezhetően jelentős mértékben csökkentette a talajban található vízkészletet.

2. táblázat: A vizsgált évek főbb meteorológiai jellemzői (hidrológiai év)  
Table 2: Main meteorological parameters of the investigated years (hydrological year)

| Év   | Hőmérséklet (°C) | Csapadék (mm) | Potenciális evapotranspiráció (mm) <sup>1</sup> | Ariditási index <sup>2</sup> |
|------|------------------|---------------|-------------------------------------------------|------------------------------|
| 2018 | 11,8             | 504,9         | 951,4                                           | 1,9                          |
| 2019 | 11,7             | 439,5         | 897,2                                           | 2,0                          |
| 2020 | 11,8             | 627,3         | 877,4                                           | 1,4                          |
| 2021 | 11,3             | 300,2         | 916,9                                           | 3,1                          |
| 2022 | 11,7             | 288,2         | 1069,5                                          | 3,7                          |
| 2023 | 11,6             | 501,6         | 890,1                                           | 1,8                          |

<sup>1</sup> A potenciális evapotranspiráció számítása a Dunai–Posza–Varga–Haszonits módszer (Varga-Haszonits et al. 2014; Varga-Haszonits & Varga 2015) alapján történt

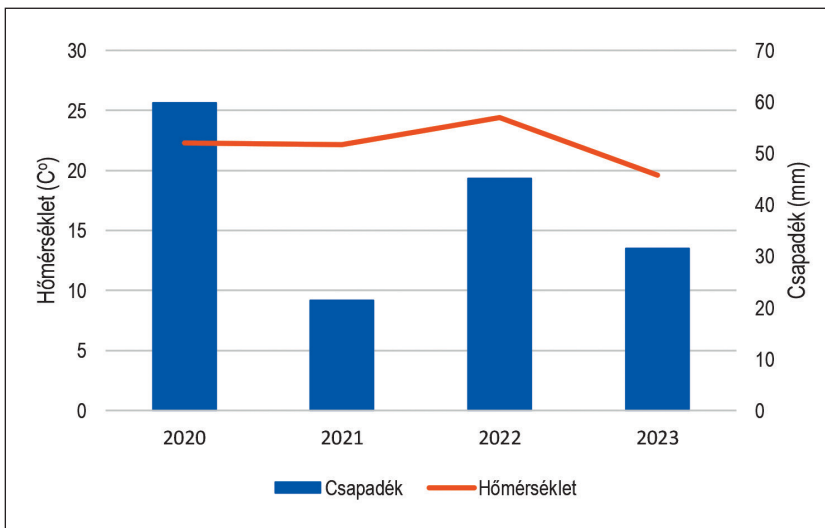
<sup>2</sup> Ariditási index számítása Budyko (1974) alapján: Ariditási index = PET / Csapadék

<sup>1</sup> The calculation of potential evapotranspiration was performed based on the Dunai–Posza–Varga–Haszonits method (Varga-Haszonits et al. 2014, Varga-Haszonits & Varga 2015)

<sup>2</sup> Aridity index calculation was based on Budyko (1974): Aridity index = PET / Precipitation

Az általunk vizsgált időszakot nézve (minden év július–augusztusa) látható, hogy a 2021-es év jelentős mértékben alatta maradt az 2022-es évben mérteknek is (21,4, illetve 45,1 mm, 3. ábra). Ezzel párhuzamosan az átlag hőmérséklet adatokban egyértelmű emelkedést tapasztalhattunk 2020 és 2022 közt (22,3 °C-ról 24,4 °C-ra), amit csökkenés követett 2023-ban (19,6 °C).

A fent bemutatott meteorológiai adatok alapján a vizsgált időszakban a 2022-es évben várhatnánk a legmagasabb párolgási értékeket.

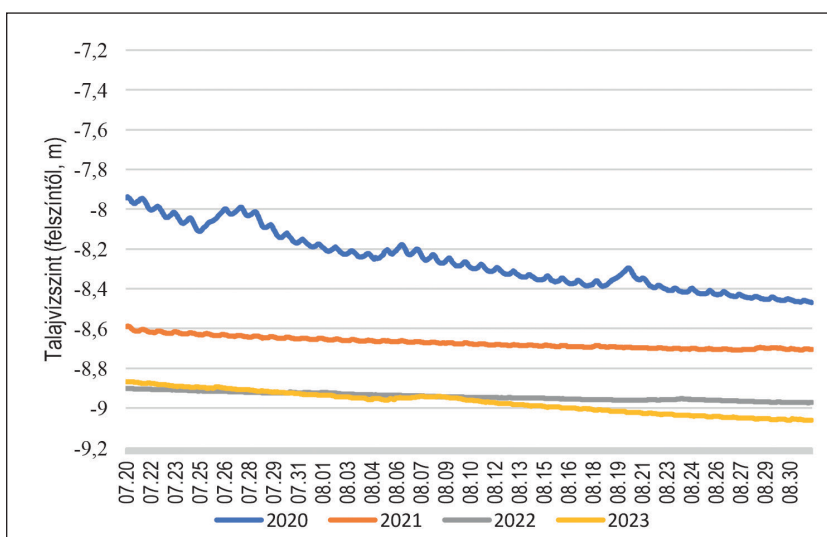


3. ábra: A megfigyelt időszak (07.20–08.30.) hőmérséklet és csapadékvizonyai évenkénti bontásban

Figure 3: Temperature and precipitation of the observed period (July 20–August 30) by year

## A talajvízszint-dinamika általános jellemzése

A talajvíz esetében az egymást követő években a vízszintsüllyedés meghatározó trendnek tekinthető. Ez alól kivételt jelentett a 2022 és 2023-as év, melyek közt nem volt tapasztalható jelentős különbség. 2020-ban 8 m-en; 2021-ben 8,6 m-en; 2022-ben és 2023-ban közelítőleg 8,9 m-en volt a talajvíz szintje a megfigyelési időszak elején. Az időszak végére, ugyanakkor itt is kialakult 9 cm különbség a 2022-es és 2023-as adatsor közt (8,97, illetve 9,06 m). A vizsgált négy év alatt, tehát nagyjából 1 m talajvízszint-süllyedés volt megfigyelhető, aminek semmiképp nem lehet egyedüli oka a 2022-ben tapasztalt rendkívüli szárazság tekintve, hogy egyrészt a területen több évtizede trend jellegű talajvízszint-süllyedés tapasztalható, másrészt már a 2020-as és 2021-es évek közt is igen jelentős, nagyjából 60 cm-es süllyedést mérhettünk (4. ábra.).

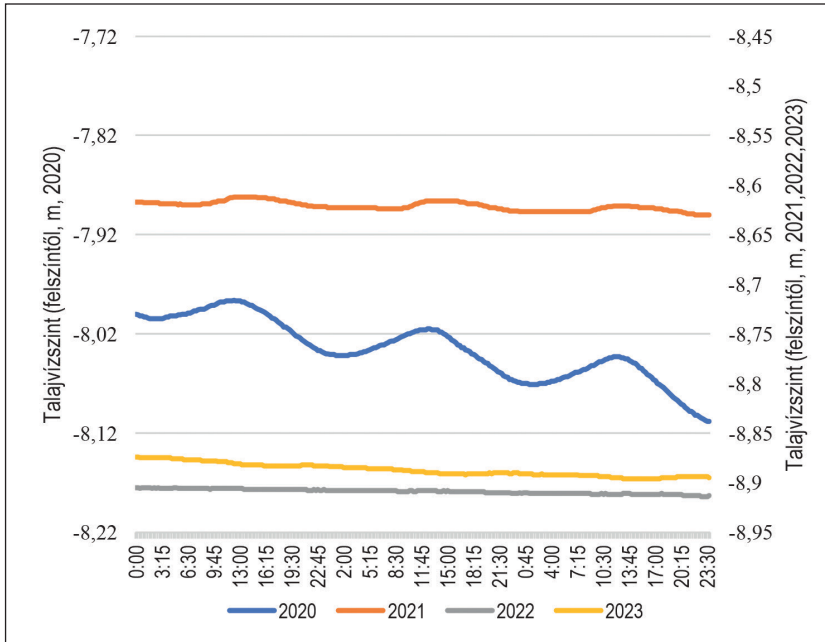


4. ábra: A megfigyelt időszak (07.20–08.30.) talajvízszint adatai évenkénti bontásban

Figure 4: Groundwater level data of the observed period (July 20–August 30) by year

Az említett évek közti további jelentős különbség, hogy míg 2020-ban 0,5 m-t süllyedt a talajvíz az adott időszakban, addig a következő években a maximális vízszintsüllyedés mértéke mindösszesen 19 cm volt (2023). Szintén jelentős változás, hogy a 2020-ban még megfigyelhető napi talajvíz ingadozás is jelentősen mérséklődött 2021-re, míg az ezt követő években ez teljes mértékben megszűnt (5. ábra).

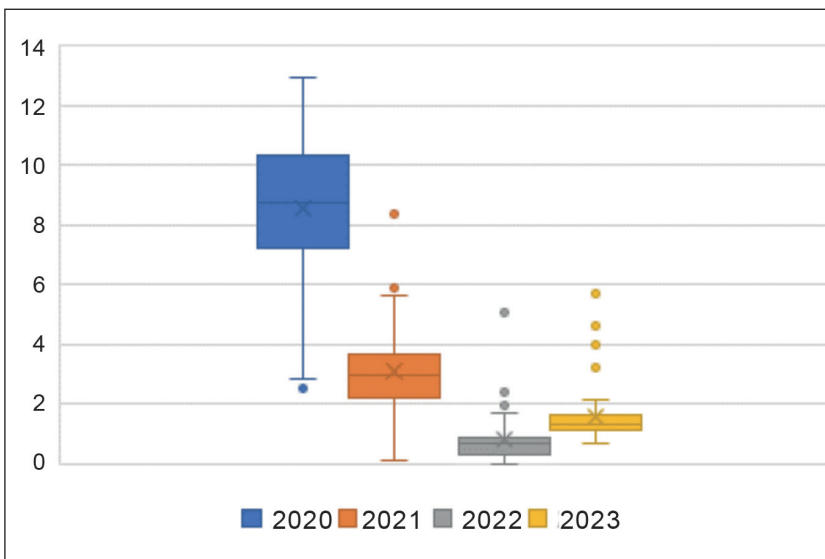
Mindezen különbségek egyöntetűen arra utalnak, hogy a megfigyelt hidrológiai folyamatok már 2020 és 2021 közt is jelentősen megváltoztak.



5. ábra: Napi talajvíz ingadozás az egyes években 3 egymást követő csapadékmentes napon (07.22.–07.25.)

Figure 5: Daily groundwater fluctuations in individual years on 3 consecutive rainless days (July 22–25)

### A talajvíz-evapotranspiráció változásának jellemzése



6. ábra: Napi talajvíz felvétel az egyes években a vizsgált időszakban (07.20.–08.31.)

Figure 6: Daily groundwater uptake in individual years during the observed period (July 20–August 31)

A korábbi megállapítással összhangban a talajvíz-evapotranszpirációs adatok is a 2020-as és az utána következő évek hidrológiai folyamatainak alapvető különbségére utalnak (6. ábra). 2020–2022 közt egyértelműen csökkenő trendet tapasztalhattunk, ami a 2022-es évet tekintve ellentétes a fent bemutatott meteorológiai paraméterek alapján vártakkal. Ez is egyértelműen arra utal, hogy az erdőállományok gyökérzete és a talajvíz közti kapcsolat megszakadt.

## DISZKUSSZIÓ

A klimatikus viszonyok változása miatt az egész régióra jellemző az erdőállományok egészségi állapotának romlása (Hlášny et al. 2014). A folyamat része, illetve azt kiegészíti az Alföldön több évtizede megfigyelhető talajvízszint-süllyedés. Ennek okairól hosszú ideje tart a szakmai vita. A szerzők éghajlati és antropogén (pl.: talajvízkivétel, erdősítés) okokat egyaránt feltételeznek a jelenség hátterében (Major 1993, Szilágyi & Vörösmarty 1993). Jelen kutatásunk, az erdő és talajvíz közötti lokális kölcsönhatás változásainak vizsgálatára, valamint a White-módszer alkalmazására korlátozódott, ami nem tette lehetővé az antropogén hatások vagy a hosszú távú meteorológiai tényezők vizsgálatát és számszerűsítését.

Az Alföld erdőállományai szénmegkötő hatásuk mellett több olyan pozitív hatást is kifejtenek, melyek lokálisan igen nagy jelentőséggel bírnak. Ilyenek a környezet hűtése (Li et al. 2015) a felső talajréteg kiszáradásának mérséklése (Novák 2022), vagy felső talajrétegek sótartalmának csökkenése (Hbirkou et al. 2011), ami a szikesedéssel érintett régiókban lehet különösen fontos.

Ezen pozitív hatások ökológiai „ára”, hogy a szóban forgó erdőállományok szükségszerűen az talajvízre, mint pótlólagos vízforrásra támaszkodnak a hosszabb csapadégmentes időszakok alatt, mivel a területen lehulló csapadék az esetek többségében nem elegendő az erdei állományok vízigényének fedezéséhez (Ijjász 1939, Magyar 1961).

A talajvíz és a gyökérzet közti kapcsolat kifejezetten fontos az olyan termőhelyeken, ahol a talaj vízháztartási tulajdonságai kedvezőtlenek. Mivel a klímaváltozás hatására a csapadékeloszlás az egész Kárpát medencében szélsőséges irányba tolódik el (Bartholy & Pongrácz 2007), várhatóan a talajvíz, mint pótlólagos vízforrás szerepe is egyre fontosabbá válik majd.

A bemutatott eredmények alapján megállapítható, hogy 2021-től a mintaterület hidrológiai folyamataiban jelentős változás állt be, mind az általunk vizsgált 2020-as évhez, mind a korábban Csáfordi et al. (2017) által vizsgált időszakhoz képest. 2021-től kezdődően a talajvíz vegetatív időszakokban megfigyelhető süllyedése kisebb mértékű, a napi, fotoszintézishez köthető talajvíz ingadozás kevésbé kifejezett, a későbbi években (2022, 2023) pedig teljesen megszűnik, következésképpen az ebből számított talajvíz-transzspirációs értékek is jelentősen alacsonyabbak, mint a megelőző évben. A leírt folyamatok mindegyikét magyarázza feltételezésünk, miszerint a folyamatos talajvízszint-csökkenés hatására a 2021-es év vegetációs időszakának végére részlegesen, ez után pedig teljesen megszűnt a kapcsolat az erdőállomány gyökérzónája és a talajvíz közt. Ezt támasztja alá, hogy a kritikus években a talajvíz megközelítette a 9 m-es mélységet, miközben a rendelkezésre álló szakirodalom alapján (Csiha & Keserű 2014, Hruska et al. 1999, Mauer et al. 2017, Tatarinov et al. 2008, Thomas & Hartmann 1998) a gyökérzet fő tömege ennél jóval sekélyebben helyezkedik el.

A megfigyelt folyamatok egészségi állapotra gyakorolt negatív hatásai már egyértelműen mutatkoztak a 2022-es aszály után is (Bolla et al. 2024), így értelemszerűen felmerül a vizsgált erdőáll-

mány fenntarthatóságának kérdése is. A fák fiziológiai folyamataik szabályozásával vagy vízfelvételi stratégiájuk megváltoztatásával bizonyos mértékig képesek alkalmazkodni a hosszan tartó száraz periódusokhoz (Barbeta et al. 2015, Skiadaresis et al. 2021) ugyanakkor ennek határait igen nehéz megbecsülni adott termőhelyi viszonyok közt. Az alkalmazkodás további lehetőségét jelentheti az őshonos fafajok szárazságtűrő genotípusainak kutatása (Ábri et al. 2022, Benke et al. 2022), illetve a mesterséges vízutánpótlás (Szabó et al. 2020).

## KONKLÚZIÓ

Az Alföldi erdőállományok hosszútávú fennmaradása nagy mértékben függ a talajvíztől, mely a fák számára pótlólagos vízforrásként szolgál a hosszú csapadékmentes időszakok alatt. Jelen esettanulmányunkban a 2022-es rendkívüli aszály után, a vegetációs időszakok végén, nagy időbeli felbontással mért talajvíz adatokra támaszkodva vizsgáltuk az erdő és a talajvíz közti kapcsolatot egy erdei talajvíz monitoring ponton, a White-módszer módosított változatának segítségével. A megfigyelt napi léptékű talajvízszint-ingadozás és a számított talajvízfelvétel alapján megállapítható, hogy a talajvízsüllyedés hatására a gyökérzet 2021-ben – azaz már az aszály előtti időszakban – részlegesen, majd 2022-ben teljesen elszakadt a talajvíztől. Következtetésünket a vonatkozó szakirodalom is megerősíti. Amennyiben a talajvíz süllyedése a korábbi időszakhoz hasonlóan folytatódik, a leírt folyamat megkérdőjelezheti a vizsgált erdőállomány hosszútávú fenntarthatóságát.

Az egyre szélsőséesebb csapadékeloszlási trend alapján a jövőben a talajvízhez való hozzáférés, vagy annak hiánya, még kritikusabb tényező lesz az Alföld erdeinek vízellátásában. Annak érdekében, hogy a szóban forgó erdőállományok továbbra is biztosítani tudják számunkra a leírt ökológiai szolgáltatásokat, a téma további kutatása mellett kiemelten fontos lenne az olyan célzott emberi beavatkozások lehetőségeinek vizsgálata is, mint például a klímaváltozás hatásainak ellenállóbb genotípusok alkalmazása, vagy a talajvízkészletek mesterséges utánpótlása.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció a TKP2021-NKTA-43 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A kutatást a 143972SNN azonosítószámú OTKA pályázat támogatta.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Ábri T., Keserű Z., Borovics A., Rédei K. & Csajbók J. 2022: Comparison of Juvenile, Drought Tolerant Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Clones with Regard to Plant Physiology and Growth Characteristics in Eastern Hungary: Early Evaluation. *Forests* 13(2): 292. <https://doi.org/10.3390/f13020292>
- Andualet T.G., Demeke G.G., Ahmed I., Dar M.A. & Yibeltal M. 2021: Groundwater Recharge Estimation Using Empirical Methods from Rainfall and Streamflow Records. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 37: 100917. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100917>



- Atawneh D.A., Cartwright N. & Bertone E. 2021: Climate Change and Its Impact on the Projected Values of Groundwater Recharge: A Review. *Journal of Hydrology* 601: 126602. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126602>
- Barbeta A., Mejía-Chang M., Ogaya R., Voltas J., Dawson T.E. & Peñuelas J. 2015: The Combined Effects of a Long Term Experimental Drought and an Extreme Drought on the Use of Plant-Water Sources in a Mediterranean Forest. *Global Change Biology* 21(3): 1213–25. <https://doi.org/10.1111/gcb.12785>
- Bartholy J. & Pongrácz R. 2007: Regional Analysis of Extreme Temperature and Precipitation Indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change* 57(1): 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.002>
- Benke A., Köbölkuti Z.A., Cseke K., Borovics A. & Tóth E.G. 2022: Szárazságtűrésben szerepet játszó SNP-k azonosítása kocsánytalan tölgy populációkban: alapkutatási eredmények a fenntartható tölgygazdálkodásért. *Erdészettudományi Közlemények* 12(2): 77–90. <https://doi.org/10.17164/EK.2022.05>
- Bolla B., Manninger M., Molnár T., Horváth B., Szolgay J., Gribovski Z., Kalicz P. & Szabó A. 2024: Evaluation of the Compound Effects of the 2022 Drought and Heatwave on Selected Forest Monitoring Sites in Hungary in Relation to Its Multi-Year Drought Legacy. *Forests* 15(6): 941. <https://doi.org/10.3390/f15060941>
- Brodribb T.J., Powers J., Cochard H. & Choat B. 2020: Hanging by a Thread? Forests and Drought. *Science* 368(6488): 261–66. <https://doi.org/10.1126/science.aat7631>
- Budyko M.I. 1974: *Climate of Life*. New York and London, Academic Press.
- Csáfordi P., Szabó A., Balog K., Gribovski 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: 1–16. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7002-1>
- Csiha I. & Keserű Z. 2014: Szárazodó homoki termőhelyen álló idős fák gyökérzetének vizsgálata. *Erdészettudományi Közlemények* 4(2): 33–42. Teljes szöveg
- Fan J., Oestergaard K.T., Guyot A. & Lockington D.A. 2014: Estimating Groundwater Recharge and Evapotranspiration from Water Table Fluctuations under Three Vegetation Covers in a Coastal Sandy Aquifer of Subtropical Australia. *Journal of Hydrology* 519: 1120–29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.08.039>
- Gribovski Z., Szilágyi J. & Kalicz P. 2010: Diurnal Fluctuations in Shallow Groundwater Levels and Streamflow Rates and Their Interpretation – A Review. *Journal of Hydrology* 385(1–4): 371–83. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.02.001>
- Hbirkou C., Martius C., Khamzina A., Lamers J.P.A., Welp G. & Amelung W. 2011: Reducing Topsoil Salinity and Raising Carbon Stocks through Afforestation in Khorezm, Uzbekistan. *Journal of Arid Environments* 75(2): 146–55. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.09.018>
- Hlásny T., Mátyás C., Seidl R., Kulla L., Merganičová K., Trombik J., Dobor L., Barcza Z. & Konôpka B. 2014: Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaptation? *Central European Forestry Journal* 60(1): 5–18.
- Hou X., Hui Y., Cao J., Feng W. & Zhang Y. 2023: A Review of Advances in Groundwater Evapotranspiration Research. *Water* 15: 969. <https://doi.org/10.3390/w15050969>
- Hruska J., Čermák J. & Šustek S. 1999: Mapping Tree Root Systems with Ground-Penetrating Radar. *Tree Physiology* 19(2): 125–30. <https://doi.org/10.1093/treephys/19.2.125>
- Ijjász E. 1939: A fatenyészet és az altalajvíz, különös tekintettel a nagyalföldi viszonyokra. *Erdészeti kísérletek* 42(1): 107.
- Járó Z. 1981: A hazai erdők vízfogyasztása. *Agrártudományi közlemények: A magyar tudományos akadémia agrártudományok osztályának közleményei* 40(2–4): 353–56.
- Lee C.-H., Chen W.-P. & Lee R.-H. 2006: Estimation of Groundwater Recharge Using Water Balance Coupled with Base-Flow-Record Estimation and Stable-Base-Flow Analysis. *Environmental Geology* 51(1): 73–82. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0305-2>
- Li Y., Zhao M., Motesharrei S., Mu Q., Kalnay E. & Li S. 2015: Local Cooling and Warming Effects of Forests Based on Satellite Observations. *Nature Communications* 6(1): 6603. <https://doi.org/10.1038/ncomms7603>

- Loheide S.P., Butler Jr J.J. & Gorelick S.M. 2005: Estimation of Groundwater Consumption by Phreatophytes Using Diurnal Water Table Fluctuations: A Saturated-Unsaturated Flow Assessment. *Water resources research* 41(7). <https://doi.org/10.1029/2005WR003942>
- Magyar P. 1961: Alföldfásítás. I–II. Budapest. Akadémiai Kiadó.
- Major P. 1993: A Nagy-Alföld talajvízháztartása. *Hidrológia Közlöny* 73(1): 40–43.
- Manna F., Cherry J.A., McWhorter D.B. & Parker B.L. 2016: Groundwater Recharge Assessment in an Upland Sandstone Aquifer of Southern California. *Journal of Hydrology* 541: 787–99. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.039>
- Mauer O., Houšková K. & Mikita T. 2017: The Root System of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) at the Margins of Regenerated Stands. *Journal of Forest Science* 63(1): 22–33. <https://doi.org/10.17221/85/2016-JFS>
- Novák T. 2022: Afforestation Affects Vertical Distribution of Basic Soil Characteristics and Taxonomic Status of Sodic Soils. *Plant, Soil and Environment* 68(5): 245–52. <https://doi.org/10.17221/53/2022-PSE>
- Obuobie E., Diekkruuger B., Agyekum W. & Agodzo S. 2012: Groundwater Level Monitoring and Recharge Estimation in the White Volta River Basin of Ghana. *Journal of African Earth Sciences* 71–72: 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2012.06.005>
- Skiadareisis G., Schwarz J., Stahl K. & Bauhus J. 2021: Groundwater Extraction Reduces Tree Vitality, Growth and Xylem Hydraulic Capacity in *Quercus robur* during and after Drought Events. *Scientific Reports* 11(1): 5149–5149. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84322-6>
- Szabó A., Gribovszki Z., Kalicz P., Szolgay J. & Bolla B. 2022: The Soil Moisture Regime and Groundwater Recharge in Aged Forests in the Sand Ridge Region of Hungary after a Decline in the Groundwater Level: An Experimental Case Study. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 70(3): 308–320. <https://doi.org/10.2478/johh-2022-0019>
- Szabó Z., Tahy A. & Mádl-Szőnyi J. 2020: A célzott felszín alatti vízutánpótlás nemzetközi trendjei és hazai alkalmazási lehetőségei (Managed Aquifer Recharge – State of the Art, Needs and Possibilities in Hungary). *Hidrológiai Közlöny* 100(4): 40–51.
- Szilágyi J. & Vörösmarty Ch. 1993: A Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedések okainak vizsgálata. *Vízügyi Közlemények* 75(3): 280–94.
- Tatarinov F., Urban J. & Čermák J. 2008: Application of 'Clump Technique' for Root System Studies of *Quercus robur* and *Fraxinus excelsior*. *Forest Ecology and Management* 255(3–4): 495–505. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.022>
- Thomas F.M. & Hartmann G. 1998: Tree Rooting Patterns and Soil Water Relations of Healthy and Damaged Stands of Mature Oak (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). *Plant and Soil* 203: 145–58. <https://doi.org/10.1023/A:1004305410905>
- Tóth J. 1963: A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins. *Journal of Geophysical Research* 68(16): 4795–4812. <https://doi.org/10.1029/JZ068i016p04795>
- Varga-Haszonits Z., Tar K., Lantos Z. & Varga Z. 2015: Párolgási formulák összehasonlítása a mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján. *Növénytermelés* 64(3): 77–96.
- Varga-Haszonits Z. & Varga Z. 2014: A meteorológiai tényezők és a növényfejlődés közötti kapcsolat modellezésének módszertani alapjai. *Acta Agronomica Óváriensis* 56(1): 53–74. Teljes szöveg
- White W.N. 1932: A Method of Estimating Ground-Water Supplies Based on Discharge by Plants and Evaporation from Soil: Results of Investigations in Escalante Valley, Utah. *Water Supply Paper 659-A* US Government Printing Office. p. 115. <https://doi.org/10.3133/wsp659A>
- Yadav B., Parker A., Sharma A., Sharma R., Krishan G., Kumar S., Corre K.L., Moreno P.C. & Singh J. 2023: Estimation of Groundwater Recharge in Semi-arid Regions under Variable Land Use and Rainfall Conditions: A Case Study of Rajasthan, India. *PLOS Water* 2(3): e0000061. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000061>

Érkezett: 2024. október 09.

Közlésre elfogadva: 2025. január 27.

## A REMETEKERT ERDŐREZERVÁTUM (ER-37) FAÁLLOMÁNSZERKEZET, FEKVŐ HOLTFÁ ÉS TERMŐHELY VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI

**Horváth Bálint\*, Nagy-Khell Melinda, Farkas Máté, Németh Tamás Márton, Bereczki Katalin,  
Bolla Bence, Jeczó Virág, Kiss Lászlóné, Toldi Valter, Fonyó Tamás és Illés Gábor**

*Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4.*

### Kivonat

A hazai erdőrezervátumok monitorozása 2005-ben kezdődött, napjainkig közel 40 magterület felmérése történt meg a hosszú távú vizsgálatsorozatok részeként. A Remetekert Erdőrezervátum alapfelmérésére 2022-ben került sor, többek között termőhelyi és faállomány szerkezeti vizsgálatok elvégzésével, amelyet a domborzatmodell megszerkesztésével és a fekvő holtfa mennyiségének felmérésével egészítettünk ki. A vizsgált középkorú, zárt szálerdő első sorban agyagbemosódásos barna erdőtalajon áll, amelynek tápanyagtartalma megfelelő termőhelyi feltételeket biztosít az állományalkotó dombvidéki bükkös és gyertyános-kocsánytalan tölgyes erdőknek. A terület domináns fafaja a kocsánytalan tölgy volt, emellett magasabb törzsszámban a bükk és a gyertyán fordult elő, átlagos élőfakészletük  $556 \text{ m}^3/\text{ha}$ , állománysűrűségük  $762 \text{ törzs}/\text{ha}$  volt. Az első lombkoronaszintet alkotó fák átlagosan kb. 20 méter magasak, a második lombkoronaszint magassága átlagosan 14 méter körüli. A fekvő holtfa eloszlása egyenlőtlen volt, mennyisége átlagosan  $24,8 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

*Kulcsszavak:* monitorozás, bükk, kocsánytalan tölgy, gyertyán, dendrometria, földi lézerszkennelés

### STUDY ON THE STAND STRUCTURE, LYING DEAD TREES AND SITE CHARACTERISTICS IN THE REMETEKERT FOREST RESERVE

#### Abstract

Long-term monitoring system in the Hungarian forest reserves has started in 2005 and almost 40 forests were surveyed up until the present days. The Remetekert forest reserve was investigated in 2022 for the first time; the study focused i.a. on site characteristics (e. g. soil composition) and stand structure, supplemented with the relief model and measurement of lying dead trees. Lessivated brown forest soil dominated in the forest which was suitable for the stand forming forest types: beech woodlands and sessile oak-hornbeam woodlands. Sessile oak was dominant tree species within the site however, beech and hornbeam also were abundant. Average living stock volume was  $555.61 \text{ m}^3/\text{ha}$ , stand density was  $762 \text{ stem}/\text{ha}$ . Upper and lower canopy layer were typical, characterised by 20 meters and 14 meters average height. The distribution of lying dead trees was unequal, their average quantity was  $24.75 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

*Keywords:* monitoring, beech, sessile oak, hornbeam, dendrometry, terrestrial laser scanning

## BEVEZETÉS

Az erdei ökoszisztémák meghatározó szerepet játszanak a szárazföldi életközösségek egyensúlyának fenntartásában, ezért minél pontosabb megismerésük ökológiai és ökonómiai szempontból is fontos feladat. A magyarországi erdők túlnyomó része gazdasági rendeltetésű. Emellett a hazai erdők védelmi, egészségügyi-szociális, turisztikai és oktatás-kutatási célokat is szolgálhatnak (2009. évi XXXVII. törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról). Többek között kutatási feladatokhoz biztosítanak háttérrel az erdőrezervátumok magterületei, amelyek olyan területek, ahol az erdők már hosszabb ideje legfeljebb csak minimális emberi beavatkozásnak voltak kitéve, ideális esetben a kutatómunkák kivételével minden közvetlen emberi tevékenységtől mentesek. Céljuk, hogy az erdőben zajló természetes folyamatok hosszú távon, szabadon érvényesüljenek; így lehetőséget nyújtanak az ökoszisztéma működésének, a természetes folyamatoknak és az élővilág változásainak tanulmányozására anélkül, hogy emberi tevékenység jelentősen befolyásolná az eredményeket (Bartha és mtsai 2002, Somogyi 2002, Temesi és mtsai 2002). Ezen túl értékes információt gyűjthetünk a fenn tartható erdőgazdálkodás és a biodiverzitás védelme érdekében (Mátyás 1993, Parviainen et al. 2000). Ideális esetben az erdőrezervátumok magterülete egyben háborítatlan őserdő lenne (ún. „őserdei-rezervátumok”), ezekből azonban Európában igen kevés maradt – köszönhetően a kontinens történelmi és tájhasználati múltjának –, főleg a kontinens hegyvidéki és boreális területein fordulnak elő (Sabatini et al. 2018, 2021).

A hazai erdőrezervátum-hálózat kijelölésének első lépései 1986-ban kezdődtek (Czajlik 1989, 1994; Mátyás 1993), napjainkban összesen 63 erdőrezervátum magterület található az országban (Horváth & Borhidi 2002). Kutatásuk elsősorban hosszú távú vizsgálatokat (továbbiakban: HTV) szolgálnak, amelyek során az erdő ökoszisztémák természetes dinamikájának nyomon követése a cél (Horváth 2012). A HTV egységes módszertana a 2000-es években lett kidolgozva, az alapfelmérések 2005-ben kezdődtek – néhány magterület kivételével –, amelyek felmérése már korábban megtörtént, de a vizsgálatokat még nem az egységes módszertan alapján végezték el. A magyarországi erdőrezervátumok vizsgálata hasonló célokat szolgál, mint a nemzetközi szintén zajló kutatások (Parviainen et al. 2000, Horváth & Borhidi 2002).

Ugyanakkor a HTV mellett az erdőrezervátumok gyakran biztosítanak teret célorientált kutatásoknak is, amelyek többek között lepkékkel (Uhl et al. 2020, Wölfling et al. 2020), bogarakkal (Karpiński et al. 2021), holtfával (Christensen et al. 2005), gombákkal és mohákkal (Ódor et al. 2006), illetve a vegetációval (Standovár et al. 2007) kapcsolatosak.

Jelen munkában a Remetekert erdőrezervátum (ER-37) alapfelmérésének részeredményeit ismertetjük. Kutatásunk célja az HTV-hoz kapcsolódó egyes felmérések elvégzése volt; emellett az egységes HTV módszertan mintavételes megközelítésén (amellyel a faállomány 10-20%-át méri fel) túl, teljes és pontos digitális fatérkép készítése.



## ANYAG ÉS MÓDSZER

### Vizsgálati terület és mintavételi pontok

A Remetekert Erdőrezervátum 157,6 ha, amelyből 31,8 ha magterület (1. ábra) és 125,8 ha védőzóna (Ökológiai Kutatóközpont 2024). A terület a Zalai-dombvidék, Zalaapáti-hát kistájban található, melynek klímazonális erdőtípusai a szubmediterrán bükkösök, az alacsonyabb tengerszint feletti magasságokban pedig gyertyános-tölgyesek. A dombtetőkön előforduló cseres-tölgyes erdők már másodlagos társulások (Király et al. 2008).

A vizsgálatokat a magterületen végeztük el, amely gyertyános-tölgyes klímában fekszik, bükkös-gyertyános-kocsánytalan tölgyes faállomány típus jellemzi, de a klímamodellek alapján a jövőben várhatóan cseres, illetve kocsánytalan tölgyes klímaosztályba csúszik át (Ökológiai Kutatóközpont 2024). A magterületet 3 erdőrészlet alkotja: Nagypapornak 25/E, 24/C és 24/D, amelyekben a domboldalakon és a dombháton jelenleg gyertyános-kocsánytalan tölgyes, míg a völgyben dombvidéki bükkös faállomány típus jellemző. A magterületen felhagyott gazdasági rendeltetésű erdőállomány található, amely fiatal-középkorú, zárt és homogén szerkezetű (Erdőtérkép 2024, Ökológiai Kutatóközpont 2024).



1. ábra: A Remetekert Erdőrezervátum magterülete és a vizsgálat során használt mintavételi pontok (MVP)

Figure 1: Remetekert Forest Reserve's core area and the sampling points

A mintavételi pontok (MVP) kijelölése szisztematikus módon történt,  $50 \times 50$  méteres hálózatban, a faállomány-dinamikai és erdőökológiai megfigyelő hálózatnak megfelelően (Horváth 2012). A háló tervezését ArcMap 10.8.1 program segítségével végeztük, melynek során a magterület hosszanti oldalával párhuzamosan generáltuk az  $50 \times 50$  m-es hálópontokat. A kezdőpontot a magterület DNY-i sarkához illesztettük oly módon, hogy a rácsponthoz tartozó cella középpontja legalább

15-20 m-re legyen a terület szélétől (1. ábra). Az MVP-ket fizikailag is kitűztük a mintaterületen, Spectra Precision 120 GNSS vevő használatával, amely külső antennával rendelkező és valós idejű, RTK (Real Time Kinematic) mérésre képes eszköz.

## Vizsgálati módszer

A vizsgálatokhoz földi lézerszkennel technológiával (Terrestrial Laser Scanning – TLS) gyűjtöttünk adatokat (Trimble TX6 műszer), melynek során az egész magterületet egybefüggően lefedő (geometriai értelemben is pontos) pontfelhő keletkezett. A pontfelhő illesztését a terepen bemért illesztőpontok (céltárgyként 15-25 cm átmérőjű fehér gömböket használtunk) segítségével végeztük el, melyek a térképen, a terepen, a pontfelhőn és a légifotókon is jól azonosítható helyeken kerültek kihelyezésre. A lézerszkennelrel 140 pontból (álláspont) volt megvalósítható az egész magterületet lefedő pontfelhő létrehozása, az álláspontok elhelyezésének fontosabb kritériumai a következők voltak: (1) biztosítsák a terület minél teljesebb lefedettségét, (2) a lehető legtöbb fa törzsére adjon rálátást, (3) az illesztési pontokra minél jobb maradjon a rálátás, (4) két álláspont között a lehető legnagyobb távolság tartása. Minden állásponton közepesen nagy felbontású módban használtuk a szkennert, amely kimondottan magas pontsűrűség elérését tette lehetővé (30 méteres távolságban 1,1 centiméterenként keletkezett egy mért pont). A szkenneléssel készült felvételek jobb összeillesztése érdekében a céltárgyakról a legnagyobb felbontásban is készítettünk felvételt (30 méteres távolságban átlagosan 0,6 centiméterenként keletkezett egy mért pont). Az alkalmazott felbontásokkal a teljes eredeti pontmennyiség nagyságrendileg  $34,3 \times 10^9$ , amelyből a feldolgozáshoz 7-10%-ot használtunk fel (ez elsősorban a közelebb eső pontok ritkítását jelentette, amelyre a könnyebb feldolgozhatóság miatt volt szükség). A letapogatással nyert pontfelhő adatait *.tbf* fájl kiterjesztésben mentette a szkennelő amiből *.las* köztes formátumon át *.LiData* formátumot készítettünk és ezt dolgoztuk fel. A pontfelhő feldolgozása LiDar360 szoftverrel történt, aminek mind földi, mind légi úton nyert adatállományok feldolgozásához létezik erdészeti modulja. Munkánkhoz a TLS Forest és a Terrain csomagokban implementált algoritmusokat használtuk (GreenValley 2024).

### Domborzatmodell elkészítésének módszere

A domborzatmodell megszerkesztéséhez a szkenneléssel nyert pontfelhőben azonosítottuk a talajra eső pontokat, miután a kiugró értékeket és a zajt kiszűrtük. Megadtunk egy sávot a lokálisan legkisebb magasságokkal rendelkező pontokra nézve (ez általában 30 cm), amiben megkerestük a potenciálisan a talajon lévő pontokat. A sávon és a keresési sugáron belüli pontokat a talajfelszín osztályába sorolta a program. Ezekből a pontokból  $0,5 \times 0,5$  m-es hasáb átlagpontok készültek, amiket felületre interpoláltunk. A pontfelhőből kinyert raszterek formátuma *.tif*, méretük 35-40 MB közötti volt, típustól függően.

### Dendrometriai vizsgálatok módszere

A lézerszkenneléssel gyűjtött pontfelhőre és a terepi megfigyelésekre alapozva végeztük el a magterület faállomány szerkezetének (FAÁSZ) vizsgálatát a mintavételi pontokban. Horváth (2012) munkáját követve kombinált mintavételt végeztünk, 8,92 m vízszintes távolságban minden faegyed



(MVP kör), illetve egy 2-es szorzótényezőjű számszámláló próbával a távolabbi nagyobb fák vizsgálatával. Jelen publikációban csak az MVP körökön belül detektált adatokat közöljük. Faállománynak tekintettük az 5 cm, vagy annál nagyobb mellmagassági átmérőjű (130 cm magasságban mérve) fás szárú növényeket.

A domborzatmodell alapján elkészítettük a faállományt jellemző normalizált felületmodell. A normalizált modellen az alkalmazott szoftverbe (LiDAR360) beépített algoritmus segítségével azonosítottuk a faegyedeket és levezettük azok jellemző dendrometriai paramétereit. Az automatikus azonosításhoz megadunk egy minimális és egy maximális átmérőt és magasságot, valamint egy minimális törzsmagasságot. A program megkereste a jellegzetes íves alakzatokat, amik a potenciális törzsek lehetnek. Az ívekre ellipszoid, vagy kör alakzatot illesztett és készített egy ún. „seed point” adatbázist a lehetséges faegyedekről, illetve felkutatta a lehetséges pontokat, amik a fához tartoznak a törzs pontjainak kiegészítésével egy keresési sugár és egy maximális pontközi távolság megadásával. Az eredményeket ellenőriztük és szükség esetén manuálisan javítottuk (pl. az álló holtfák kiszűrésével). Azonosítottuk az egyes fák koordinátáit, famagasságát (m), a mellmagassági átmérőjét (m), körlapösszegét (m<sup>2</sup>/ha) és a fatérfogatát (m<sup>3</sup>/egyed). A felsorolt dendrometriai paramétereket a szoftver számította, az adott fához sorolt pontok geometriájából. Az algoritmus által megtalált faegyedek adatait ellenőrzés alá vetettük, hogy a hibás adatokat ki lehessen szűrni és javítani a pontfelhő részletesebb vizsgálatával. Az átlagos élőfa készletet (m<sup>3</sup>/ha) az algoritmus által számított átlagos fatérfogat alapján számítottuk, 1 hektárra arányosítva.

### *Fekvő holtfa vizsgálatok módszere*

A fekvő holtfa mennyiségének kimutatására a talajra eső lézeres pontokat osztályoztuk a felszíntől mért magassági kilengések vizsgálatával. A hosszan elnyúló kilengési értékek rajzolták ki a fatörzsek helyzetét, amit aztán a magasságkülönbségek pontról pontra történő leképezésével törzsátmérővé alakítottunk.

### *Termőhelyvizsgálat módszere*

A termőhely feltárás direkt mintavétellel és digitális térképezési módszerekkel történt. A feltárás tervezéséhez felhasználtuk az elérhető talajadatbázisok adatait, a területről készült szintvonalas térképi adatállományt, valamint a terület földtani térképét, amelyekből felszinforma és talajtípus kategorizálást végeztünk. Ennek során kijelöltük a homogén tulajdonságokkal rendelkező területrészeket. Minden kategóriából kiválasztottunk 2-3 mintavételi pontot, ahol részletes feltárást végeztünk, motoros talajfúró (Eijkkamp Percussion drilling set – hammer Cobra TT, RD32) használatával, 1 méteres, 10 cm átmérőjű talajtömbök vizsgálatával. A mintákat az ERTI Ökológiai Laboratóriumában dolgoztuk fel. A minták elemzését Bidló et al. (2002) és Kovács et al. (2007) munkája alapján végeztük el. A terepi mintavételek során a következő paramétereket vizsgáltuk: (1) az egyes szintek vastagsága (cm); (2) a talajok színe; (3) fizikai talajféleség; (4) szerkezet; (5) kiválás. A laboratóriumi vizsgálatok során a következő paramétereket vizsgáltuk: (6) kémhatás (H<sub>2</sub>O és KCl); (7) humusztartalom (%); (8) szénsavas mésztartalom (CaCO<sub>3</sub>%); hidrolitos aciditás (y1); (9) kicserélődési aciditás (y2); (10) Kuron-féle higroszkóposság (hy%); (11) 5 órás kapilláris vízemelés (5 h kap.); (12) Arany-féle kötöttségi szám (K<sub>A</sub>).

A mintavétellel nem érintett területek vonatkozásában a talajparamétereket térbeli kiterjesztéssel becsültük. Az eredményeket térképi formában egységesítettük.

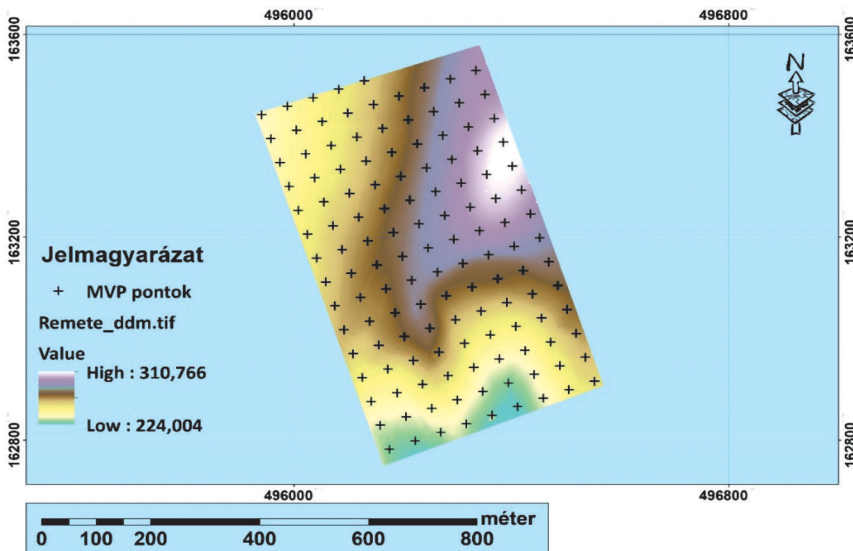
## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A tervezett 131 mintavételi pontból a terepi adottságok következtében összesen 123 MVP kitűzésére és vizsgálatára került sor (1. ábra). Ennek oka, hogy néhány pont erdészeti útra esett, vagy a magterület határának közelsége miatt egyes mintakörök részben a vizsgálati területen kívüli területet fedtek volna le.

### Domborzatmodell

A lézeres felmérésből elkészítettük a terület domborzatmodelljét (2. ábra). A modell terepi felbontása 25 cm, ami alkalmas arra, hogy akár a közelítő nyomokat, kidőlt fák gyökértányérját, illetve az utakat is lássuk a felületen.

A TLS módszertanával előállított domborzati térképeket gyakran kombinálják légi felvételekkel (Light Detection and Ranging – LiDAR, Airborne Laser Scanning – ALS) annak érdekében, hogy minél hatékonyabban és pontosabban tudják elvégezni a vizsgálatokat (e. g. Aicardi et al. 2016, Luo et al. 2024). Az általunk használt statikus lézer szkennelés nagy területen történő alkalmazása időigényes. Ugyanakkor a jövőben, a légi távérzékelés fejlődésével várhatóan kevesebb földi mérésre lesz szükség és a felmérések időtartama lerövidül, illetve a vizsgálatok pontossága növekszik.



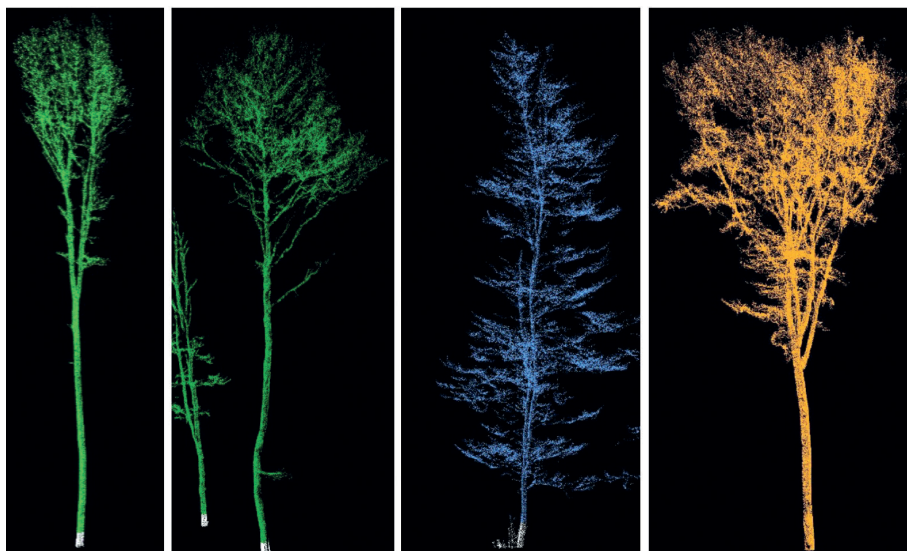
2. ábra: A Remetekert Erdőrezervátum magterületének domborzati modellje  
Figure 2: Relief model of Remetekert Forest Reserve's core area

## Faállomány szerkezet (FAÁSZ) vizsgálatok

A lézeres szkenneléssel a teljes magterületen összesen 24245 faegyedet rögzítettünk, amely alapján a terület átlagos állománysűrűsége 762 törzs/ha. Az MVP-k által kijelölt mintaterületekbe ebből több, mint 2400 db fa került be. A fák átlagos mellmagassági átmérője (az összes faegyed alapján) 23 cm (SD: 12), míg átlagos magasságuk 17,93 m (SD: 8,27) volt.

A fajok azonosításához tanulóterületek kiválasztásával manuálisan azonosítottunk faegyedeket faj szinten, amelyet az osztályozó algoritmus felhasznált a teljes faállomány vizsgálatához (3. ábra).

Az algoritmus által elvégzett faj azonosítást követően megtörtént a faegyedek algoritmikus átmérő, magasság mérése és a fatérfogat számítása a mintavételi pontokban, melyek összefoglaló statisztikáját az 1. táblázat tartalmazza. A magterületen legmagasabb törzsszámban a kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* agg.) fordult elő, ezt követte a bükk (*Fagus sylvatica* L.) és a gyertyán (*Carpinus betulus* L.). A felső lombkoronaszintet alkotó főfafajok átlagos magassága közel 20 m, az alsó lombkoronaszint magassága átlagosan 14 méter körüli volt.



3. ábra: Példa az egyedi fa tanuló pontfelhők faj osztályozásra használt modellhez.

Balról jobbra: bükk, kocsánytalan tölgy, gyertyán és csertölgy

Figure 3: We marked reference ranges for the model to identify different tree species in the whole sampling area. The identification based on the TLS point clouds. From left to right: beech, sessile oak, hornbeam and turkey oak

1. táblázat: A mintavételi pontokon detektált legjellemzőbb fafajok dendrometriai paraméterei a Remetekert Erdőrezervátumban

Table 1: Dendrometric parameters of the most abundant tree species (detected within the sampling points) in the Remetekert Forest Reserve's core area

| Fafaj              | Átlagos famagasság (m)                    | Faegyedek száma (db) | Szórás |
|--------------------|-------------------------------------------|----------------------|--------|
| Kocsánytalan tölgy | 19,65                                     | 1136                 | 8,09   |
| Bükk               | 19,73                                     | 651                  | 8,82   |
| Gyertyán           | 14,03                                     | 615                  | 6,08   |
| Összes             | 18,23                                     | 2402                 | 8,22   |
| Fafaj              | Átlagos mellmagassági átmérő (m)          | Faegyedek száma (db) | Szórás |
| Kocsánytalan tölgy | 0,24                                      | 1136                 | 0,12   |
| Bükk               | 0,24                                      | 651                  | 0,12   |
| Gyertyán           | 0,17                                      | 615                  | 0,08   |
| Összes             | 0,22                                      | 2402                 | 0,11   |
| Fafaj              | Átlagos körlapösszeg (m <sup>2</sup> /ha) | Faegyedek száma (db) | Szórás |
| Kocsánytalan tölgy | 0,06                                      | 1136                 | 0,05   |
| Bükk               | 0,06                                      | 651                  | 0,06   |
| Gyertyán           | 0,03                                      | 615                  | 0,02   |
| Összes             | 0,05                                      | 2402                 | 0,05   |
| Fafaj              | Átlagos fatérfogat (m <sup>3</sup> )      | Faegyedek száma (db) | Szórás |
| Kocsánytalan tölgy | 0,85                                      | 1136                 | 0,89   |
| Bükk               | 0,82                                      | 651                  | 0,98   |
| Gyertyán           | 0,34                                      | 615                  | 0,38   |
| Összes             | 0,71                                      | 2402                 | 0,85   |

Az átlagos fatérfogat alapján számított élőfa készlet a kocsánytalan tölgy esetében 314,0 m<sup>3</sup>/ha, a bükk 173,6 m<sup>3</sup>/ha, a gyertyán 68 m<sup>3</sup>/ha (a három leggyakoribb fafaj összesen 555,6 m<sup>3</sup>/ha).

További vizsgálatokat végeztünk a kidőlt holt fák azonosításával és térfogatuk számításával. A fekvő holtfa térképezés alapján, a magterületen átlagosan 24,75 m<sup>3</sup>/ha holtfa volt található. Ez a mennyiség közép-európai viszonylatban mért középértéknél (53 m<sup>3</sup>) alacsonyabb (Vandekerkhove et al. 2009), ugyanakkor méréseink csak a fekvő holtfa mennyiségére vonatkoznak ellentétben a közép-európai adatokkal. A detektált holtfa eloszlása a területen egészét tekintve egyenlőtlen volt. A 4. ábra egy magas fekvő holtfa denzitású részletet szemléltet.

A földi lézerszkennerek technológiát napjainkban már széles körben és hatékonyan alkalmazzák a faállomány szerkezeti vizsgálatokhoz (e. g. LaRue et al. 2020, Torralba et al. 2022). Ugyanakkor szükségesnek látjuk a jövőben megvizsgálni, hogy a TLS-sel végzett felmérések és a „hagyományos kézi” felmérések eredményei és pontossága között van-e különbség, illetve milyen mértékben feleltethetők meg egymásnak a különböző módszerek.



4. ábra: A Remetekert erdőrezervátum magterületének fekvő holtfa térképe (részlet)

Figure 4: Sectional map of lying dead trees in the Remetekert Forest Reserve's core area

### Termőhelyi vizsgálatok

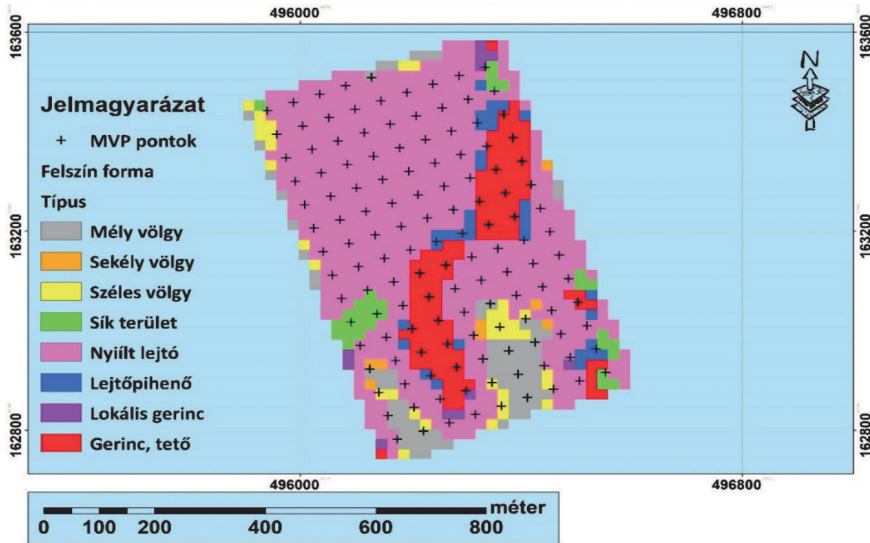
A talajtani térképek szerint a rezervátum magterületének uralkodó talajtípusa az agyagbemosódásos barna erdőtalaj. Emellett a nagyobb völgyek alsó szegmenseiben lejtőhordalék erdőtalajokat prognosztizálnak a modellek, de ezek területaránya elenyésző.

Az 5. ábra szemlélteti a felszínforma kategóriákat, amelyek mintavételi helyek kiválasztásához is alapot nyújtottak. Az ábrán a különféle színek az egyes felszínforma típusoknak, illetve azok átmeneteinek felelnek meg. Részletes feltárást összesen 15 mintavételi pontban végeztünk, ezek a következők voltak: 10, 18, 28, 33, 42, 56, 68, 80, 82, 99, 117, 118, 119, 120, 126.

A 15 mintavételi helyből 13 esetben találtunk agyagbemosódásos barna erdőtalajt, a maradék két esetben Ramann-féle barnaföldeket azonosítottunk (80-as és 99-es MVP). A barnaföldek a magasabb térszinteken, a dombok gerincein fordultak elő. Az agyagbemosódásos talajok esetében a jellemző termőréteg vastagság a mély, vagy igen mély kategóriákba esett (80-100 cm), a barnaföldek esetében a termőréteg vastagsága jellemzően közép mély volt (45-50 cm). A területen található talajok fizikai félesége meghatározóan vályog kategóriába volt sorolható.

A terület talajai kilúgozottak, jellemzően savanyú kémhatású feltalajokkal. A C-szintben azonban jelentős mésztartalmakat mértünk, ami a lösz esetében normálisnak tekinthető. A magterület talajai nem erodáltak és a felső talajszintekben megfelelő humusztartalmúak. Az átlagos szerves széntartalom a talajok felső 10 cm-ben a száraz tömegre vonatkoztatva 3,4%. A mért tápanyagszintek alapján a faállományok számára a talajok tápanyag szolgáltató képessége megfelelő. Nem találtunk talajhibára utaló nyomot.

A talajminták terepi és laboratóriumi vizsgálatainak részletes eredményeit az 1. és 2. mellékletek tartalmazza.



5. ábra: A Remetekert erdőrezervátum magterületének felszínforma kategóriái  
Figure 5: Surface forms within the Remetekert Forest Reserve's core area

## ÖSSZEFOGLALÁS

A hazai erdőrezervátum program hosszú távú vizsgálatsorozatának részeként, a Remetekert Erdőrezervátum magterületének alapfelmérésére 2022-ben került sor. A vizsgálat többek között a terület termőhelyi adottságaira és faállomány szerkezetére koncentrált. A magterület domborzati modelljének és faállomány szerkezetének vizsgálatához földi lézerszkennert használtak a szerzők. A szkenneléssel gyűjtött pontfelhő alapján a 25 centiméteres terepi felbontású domborzatmodell létrehozása volt lehetséges, amely a terület további paramétereinek vizsgálatára is lehetőséget biztosít (pl.: erdei utak és közelítő nyomok pontos azonosítása). A szkennelés pontfelhőjéből azonosítottuk az 5 cm-es mellmagassági átmérőnél nagyobb átlományalkotó és gyakori fafajok egyedeit. Az azonosításhoz a LiDAR360 szoftvert használtuk, amelyben tanuló területek kijelölését követően a beépített osztályozó algoritmus egyed szinten meghatározta a fafajokat és számította azok dendrometriai paramétereit. Az erdőállományt elsősorban kocsánytalan tölgy, bükk és gyertyán alkotta, a magterület élőfa készlete  $555,61 \text{ m}^3/\text{ha}$  volt. Emellett azonosítottuk a fekvő holtfákat is, amelyek egységes térfogatát ( $24,75 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) és térbeli eloszlását detektáltuk.

A termőhelyi vizsgálatokhoz feltárást végeztünk, amely megtervezéséhez az elérhető talajadatbázisra és szintvonalas térképi adatállományra támaszkodtunk. A talajmintavételek laboratóriumi elemzése és a mintavételek becslésen alapuló térbeli kiterjesztése alapján a magterületet leginkább jellemző talajtípus az agyagbemosódásos barna erdőtalaj volt, amely termőréteg vastagsága mély, vagy igen mély kategóriába esett. A mért tápanyag szintek alapján a talaj a területen előforduló faállományok számára megfelelő.



## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki Dr. Horváth Ferencnek, aki tanácsaival segítette jelen publikáció elkészülését. A kutatást az Agrárminisztérium EGF/146/2022 projektje támogatta.

## MELLÉKLETEK

### 1. Melléklet: A terepi talajminta vizsgálatok részletes eredményei.

| MVP10     |                 |                                 | MVP18    |                 |               |
|-----------|-----------------|---------------------------------|----------|-----------------|---------------|
| 0-10 cm   | Szín            | Fekete-szürke                   | 0-10 cm  | Szín            | Fekete-szürke |
|           | Fizikai féleség | Homokos-vályog és vályog között |          | Fizikai féleség | Vályog        |
|           | Szerkezet       | Morzás                          |          | Szerkezet       | Laza morzás   |
|           | Kiválás         | Nincs                           |          | Kiválás         | Nincs         |
| 10-50 cm  | Szín            | Barna                           | 10-52 cm | Szín            | Vöröses barna |
|           | Fizikai féleség | Vályog                          |          | Fizikai féleség | Vályog        |
|           | Szerkezet       | Diós                            |          | Szerkezet       | Nagy morzás   |
|           | Kiválás         | Nincs                           |          | Kiválás         | Nincs         |
| 50-76 cm  | Szín            | Vöröses-barna                   | 52-95 cm | Szín            | Világos barna |
|           | Fizikai féleség | Vályog                          |          | Fizikai féleség | Vályog        |
|           | Szerkezet       | Diós                            |          | Szerkezet       | Nagy diós     |
|           | Kiválás         | Nincs                           |          | Kiválás         | Nincs         |
| 76-100 cm | Szín            | Sárgás-barna                    | 95- cm   | Lössz alapkőzet |               |
|           | Fizikai féleség | Vályog                          |          |                 |               |
|           | Szerkezet       | Nagy diós                       |          |                 |               |
|           | Kiválás         | Nincs                           |          |                 |               |

| MVP28     |                 |                      | MVP33     |                 |               |
|-----------|-----------------|----------------------|-----------|-----------------|---------------|
| 0-17 cm   | Szín            | Feketés barna        | 0-10 cm   | Szín            | Szürkés barna |
|           | Fizikai féleség | Agyagos vályog       |           | Fizikai féleség | Vályog        |
|           | Szerkezet       | Apró morzás          |           | Szerkezet       | Apró morzás   |
|           | Kiválás         | Nincs                |           | Kiválás         | Nincs         |
| 17-34 cm  | Szín            | Világos szürkésbarna | 10-28 cm  | Szín            | Világos barna |
|           | Fizikai féleség | Vályog               |           | Fizikai féleség | Vályog        |
|           | Szerkezet       | Nagymorzás           |           | Szerkezet       | Nagymorzás    |
|           | Kiválás         | Nincs                |           | Kiválás         | Nincs         |
| 34-60 cm  | Szín            | Sötétbarna           | 28-75 cm  | Szín            | Sötétbarna    |
|           | Fizikai féleség | Vályog               |           | Fizikai féleség | Vályog        |
|           | Szerkezet       | Diós                 |           | Szerkezet       | Diós          |
|           | Kiválás         | Nincs                |           | Kiválás         | Nincs         |
| 60-100 cm | Szín            | Világosbarna         | 75-100 cm | Szín            | Világosbarna  |
|           | Fizikai féleség | Vályog               |           | Fizikai féleség | Vályog        |
|           | Szerkezet       | Hasábos              |           | Szerkezet       | Nagy diós     |
|           | Kiválás         | Nincs                |           | Kiválás         | Nincs         |

## Az 1. melléklet folytatása / Continuation of Annex 1

| MVP42     |                 |                                          | MVP56    |                 |                                          |
|-----------|-----------------|------------------------------------------|----------|-----------------|------------------------------------------|
| 0-6 cm    | Szín            | Feketés szürke                           | 0-20 cm  | Szín            | Feketés szürke                           |
|           | Fizikai féleség | Vályog                                   |          | Fizikai féleség | Vályog                                   |
|           | Szerkezet       | Apró morzsás                             |          | Szerkezet       | Morzsás                                  |
|           | Kiválás         | Nincs                                    |          | Kiválás         | Nincs                                    |
| 6-18 cm   | Szín            | Szürkés barna                            | 20-60 cm | Szín            | Barna                                    |
|           | Fizikai féleség | Vályog                                   |          | Fizikai féleség | Vályog                                   |
|           | Szerkezet       | Porosan morzsás                          |          | Szerkezet       | Diós                                     |
|           | Kiválás         | Nincs                                    |          | Kiválás         | Nincs                                    |
| 18-60 cm  | Szín            | Sötétbarna                               | 60-97 cm | Szín            | Világos barna                            |
|           | Fizikai féleség | Vályog                                   |          | Fizikai féleség | Homokos vályog                           |
|           | Szerkezet       | Apró diós                                |          | Szerkezet       | Nagy diós                                |
|           | Kiválás         | Nincs                                    |          | Kiválás         | Nincs                                    |
| 60-95 cm  | Szín            | Világosbarna                             | 97- cm   | Szín            | Fakó, sárgás                             |
|           | Fizikai féleség | Vályog                                   |          | Fizikai féleség | Szerkezet nélküli lösz                   |
|           | Szerkezet       | Nagy diós                                |          | Szerkezet       | Laza                                     |
|           | Kiválás         | Nincs                                    |          | Kiválás         | Mész kiválások                           |
| MVP68     |                 |                                          | MVP80    |                 |                                          |
| 0-13 cm   | Szín            | Feketés barna                            | 0-25 cm  | Szín            | Szürkésbarna                             |
|           | Fizikai féleség | Vályog és agyagos vályog közötti átmenet |          | Fizikai féleség | Agyagos vályog                           |
|           | Szerkezet       | Morzsás                                  |          | Szerkezet       | Morzsás                                  |
|           | Kiválás         | Nincs                                    |          | Kiválás         | Nincs                                    |
| 13-33 cm  | Szín            | Barna                                    | 25-45 cm | Szín            | Barna                                    |
|           | Fizikai féleség | Homokos vályog                           |          | Fizikai féleség | Agyagos vályog                           |
|           | Szerkezet       | Apró rögös                               |          | Szerkezet       | Nagy morzsás, apró diós                  |
|           | Kiválás         | Nincs                                    |          | Kiválás         | Nincs                                    |
| 33-100 cm | Szín            | Sötétbarna                               | 45- cm   | Szín            | Sárgás                                   |
|           | Fizikai féleség | Vályog                                   |          | Fizikai féleség | Homokos vályog                           |
|           | Szerkezet       | Diós                                     |          | Szerkezet       | Fehéren márványos szerkezet nélküli lösz |
|           | Kiválás         | Nincs                                    |          | Kiválás         | Nincs                                    |

## Az 1. melléklet folytatása / Continuation of Annex 1

| MVP82     |                 |                    | MVP99      |                 |                                |
|-----------|-----------------|--------------------|------------|-----------------|--------------------------------|
| 0-2 cm    | Szín            | Feketés szürke     | 0-8 cm     | Szín            | Feketés szürke                 |
|           | Fizikai féleség | Vályog             |            | Fizikai féleség | Agyagos vályog                 |
|           | Szerkezet       | Morzsás            |            | Szerkezet       | Morzsás                        |
|           | Kiválás         | Nincs              |            | Kiválás         | Nincs                          |
| 2-18 cm   | Szín            | Sárgás barna       | 8-51 cm    | Szín            | Világosbarna                   |
|           | Fizikai féleség | Homokos vályog     |            | Fizikai féleség | Vályog                         |
|           | Szerkezet       | Porosan morzsás    |            | Szerkezet       | Apró diós                      |
|           | Kiválás         | Nincs              |            | Kiválás         | Enyhén vaspettyes              |
| 18-50 cm  | Szín            | Vöröses barna      | 51-91 cm   | Szín            | Sárga                          |
|           | Fizikai féleség | Vályog             |            | Fizikai féleség | Homokos vályog                 |
|           | Szerkezet       | Apró diós          |            | Szerkezet       |                                |
|           | Kiválás         | Nincs              |            | Kiválás         | Nincs                          |
| 50-100 cm | Szín            | Világosbarna       | 91- cm     | Szín            | Fehér                          |
|           | Fizikai féleség | Homokos vályog     |            | Fizikai féleség | Szerkezet nélküli homokos lösz |
|           | Szerkezet       | Diós               |            | Szerkezet       | Laza                           |
|           | Kiválás         | Nincs              |            | Kiválás         | Nincs                          |
| MVP117    |                 |                    | MVP119-120 |                 |                                |
| 0-7 cm    | Szín            | Feketés barna      | 0-6 cm     | Szín            | Feketés sötétbarna             |
|           | Fizikai féleség | Vályog             |            | Fizikai féleség | Vályog                         |
|           | Szerkezet       | Apró morzsás       |            | Szerkezet       | Apró morzsás                   |
|           | Kiválás         | Nincs              |            | Kiválás         | Nincs                          |
| 7-20 cm   | Szín            | Világosbarna       | 6-24 cm    | Szín            | Világos sárgásbarna            |
|           | Fizikai féleség | Homokos vályog     |            | Fizikai féleség | Homokos vályog                 |
|           | Szerkezet       | Apró rögös         |            | Szerkezet       | Porosan apró morzsás           |
|           | Kiválás         | Nincs              |            | Kiválás         | Nincs                          |
| 20-50 cm  | Szín            | Barna              | 24-55 cm   | Szín            | Barna                          |
|           | Fizikai féleség | Vályog             |            | Fizikai féleség | Vályog                         |
|           | Szerkezet       | Diós               |            | Szerkezet       | Diós                           |
|           | Kiválás         | Nincs              |            | Kiválás         | Nincs                          |
| 50-100 cm | Szín            | Sötétbarna         | 55-105 cm  | Szín            | Világosbarna                   |
|           | Fizikai féleség | Agyagos vályog     |            | Fizikai féleség | Vályog                         |
|           | Szerkezet       | Nagy diós, hasábos |            | Szerkezet       | Nagy diós, hasábos             |
|           | Kiválás         | Nincs              |            | Kiválás         | Nincs                          |

## Az 1. melléklet folytatása / Continuation of Annex 1

| MVP118    |                 |                       | MVP126    |                 |                    |
|-----------|-----------------|-----------------------|-----------|-----------------|--------------------|
| 0-10 cm   | Szín            | Feketés barna         | 0-7 cm    | Szín            | Feketés szürke     |
|           | Fizikai féleség | Agyagos vályog        |           | Fizikai féleség | Agyagos vályog     |
|           | Szerkezet       | Apró morzsás          |           | Szerkezet       | Apró morzsás       |
|           | Kiválás         | Nincs                 |           | Kiválás         | Nincs              |
| 10-27 cm  | Szín            | Sárgás barna          | 7-15 cm   | Szín            | Világosbarna       |
|           | Fizikai féleség | Vályog                |           | Fizikai féleség | Vályog             |
|           | Szerkezet       | Szemcsés              |           | Szerkezet       | Morzsás            |
|           | Kiválás         | Nincs                 |           | Kiválás         | Nincs              |
| 27-52 cm  | Szín            | Vöröses barna         | 15-52 cm  | Szín            | Vöröses sötétbarna |
|           | Fizikai féleség | Vályog                |           | Fizikai féleség | Vályog             |
|           | Szerkezet       | Nagy diós             |           | Szerkezet       | Diós               |
|           | Kiválás         | Nincs                 |           | Kiválás         | Nincs              |
| 52-90- cm | Szín            | Sötétbarna            | 52-86- cm | Szín            | Világosbarna       |
|           | Fizikai féleség | Vályog                |           | Fizikai féleség | Vályog             |
|           | Szerkezet       | Hasábos               |           | Szerkezet       | Diós               |
|           | Kiválás         | Nincs                 |           | Kiválás         | Nincs              |
| 90- cm    | Szín            | Sárgás, világos barna | 86- cm    | Szín            | Fehéres szürke     |
|           | Fizikai féleség | Tömött lösz           |           | Fizikai féleség | Agyagos lösz       |
|           | Szerkezet       | Szerkezet nélküli     |           | Szerkezet       | Szerkezet nélküli  |
|           | Kiválás         | Finoman mészpettyes   |           | Kiválás         | Nincs              |

## 2. melléklet: A laboratóriumi talajminta vizsgálatok részletes eredményei

| Szelvény | Réteg  | pH (H <sub>2</sub> O) | pH (KCl) | Humusz (%) | CaCO <sub>3</sub> | y <sub>1</sub> | y <sub>2</sub> | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
|----------|--------|-----------------------|----------|------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------|----------|----------------|
| MVP10    | 0-10   | 5,91                  | 5,8      | 3,67       | –                 | 13,45          | 0,9            | 1,69            | 190      | 33             |
|          | 10–50  | 4,88                  | 4,47     | 1,29       | –                 | 13,65          | 0,85           | 1,38            | 230      | 42             |
|          | 50–76  | 4,96                  | 4,01     | 0,5        | –                 | 9,6            | 1,75           | 2,03            | 240      | 39             |
|          | 76–100 | 5,04                  | 3,83     | 0,29       | –                 | 9,5            | 2,1            | 2,2             | 280      | 42             |
| Szelvény | Réteg  | pH (H <sub>2</sub> O) | pH (KCl) | Humusz (%) | CaCO <sub>3</sub> | y <sub>1</sub> | y <sub>2</sub> | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
| MVP18    | 0–10   | 4,29                  | 3,86     | 4,84       | –                 | 34,35          | 3,75           | 2,19            | 140      | 49             |
|          | 10–52  | 4,3                   | 3,27     | 1,34       | –                 | 37,5           | 26,95          | 2,03            | 180      | 39             |
|          | 52–95  | 4,41                  | 3,53     | 0,6        | –                 | 14,45          | 6,45           | 2,33            | 230      | 37             |
| Szelvény | Réteg  | pH (H <sub>2</sub> O) | pH (KCl) | Humusz (%) | CaCO <sub>3</sub> | y <sub>1</sub> | y <sub>2</sub> | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
| MVP28    | 0–17   | 4,56                  | 4,24     | 4,95       | –                 | 32,25          | 1,5            | 2,57            | 140      | 50             |
|          | 17–34  | 4,75                  | 3,96     | 3,17       | –                 | 18,7           | 2,45           | 2,17            | 170      | 42             |
|          | 34–60  | 5,33                  | 4,65     | 0,93       | –                 | 8,75           | 0,5            | 2,29            | 200      | 37             |
|          | 60–100 | 6,02                  | 4,88     | 0,41       | –                 | 6,05           | –              | 2,28            | 280      | 37             |

## A 2. melléklet folytatása / Continuation of Annex 2

| Szelvény | Réteg    | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | pH<br>(KCl) | Humusz<br>(%) | CaCO <sub>3</sub> | y1    | y2    | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
|----------|----------|--------------------------|-------------|---------------|-------------------|-------|-------|-----------------|----------|----------------|
| MVP33    | 0–10     | 4,68                     | 4,49        | 4,62          | –                 | 27,4  | 0,95  | 1,8             | 180      | 41             |
|          | 28. okt. | 3,78                     | 3,35        | 1,83          | –                 | 40,15 | 27,85 | 1,62            | 220      | 38             |
|          | 28–75    | 4,56                     | 3,57        | 0,6           | –                 | 19,4  | 9,5   | 2,7             | 180      | 39             |
|          | 75–100   | 4,65                     | 3,72        | 0,5           | –                 | 12,95 | 3,7   | 2,66            | 240      | 38             |
| Szelvény | Réteg    | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | pH<br>(KCl) | Humusz<br>(%) | CaCO <sub>3</sub> | y1    | y2    | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
| MVP42    | 0–6      | 5,05                     | 4,83        | 3,5           | –                 | 19,8  | 0,45  | 1,9             | 160      | 42             |
|          | 6–18     | 3,96                     | 3,38        | 1,8           | –                 | 41,35 | 25,05 | 1,85            | 190      | 37             |
|          | 18–60    | 4,61                     | 3,62        | 0,57          | –                 | 19    | 7,3   | 2,59            | 190      | 38             |
|          | 60–95    | 6,41                     | 6,32        | 0,56          | –                 | 7,15  | –     | 2,54            | 280      | 42             |
|          | 95–      | 7,55                     | 7,13        | 0,42          | 12,47             | –     | –     | 1,8             | 240      | 34             |
| Szelvény | Réteg    | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | pH<br>(KCl) | Humusz<br>(%) | CaCO <sub>3</sub> | y1    | y2    | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
| MVP56    | 0–20     | 4,72                     | 4,11        | 3,8           | –                 | 40,55 | 10,9  | 2,12            | 200      | 42             |
|          | 20–60    | 4,86                     | 3,7         | 0,64          | –                 | 17,6  | 6,6   | 2,8             | 200      | 38             |
|          | 60–97    | 5,35                     | 4,23        | 0,44          | –                 | 8,1   | 1,15  | 1,94            | 260      | 36             |
|          | 97–      | 7,5                      | 7,06        | 0,43          | 17,46             | –     | –     | 1,72            | 250      | 37             |
| Szelvény | Réteg    | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | pH<br>(KCl) | Humusz<br>(%) | CaCO <sub>3</sub> | y1    | y2    | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
| MVP68    | 0–13     | 4,82                     | 4,77        | 5,12          | –                 | 30,5  | 0,9   | 2,22            | 150      | 50             |
|          | 13–33    | 4,3                      | 3,71        | 1,43          | –                 | 22,3  | 9,55  | 1,57            | 230      | 37             |
|          | 33–100   | 4,62                     | 3,66        | 0,59          | –                 | 14,05 | 4,5   | 2,96            | 180      | 45             |
| Szelvény | Réteg    | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | pH<br>(KCl) | Humusz<br>(%) | CaCO <sub>3</sub> | y1    | y2    | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
| MVP80    | 0–25     | 4,25                     | 3,75        | 2,7           | –                 | 33,9  | 7,35  | 3,38            | 130      | 42             |
|          | 25–45    | 6,4                      | 6,33        | 1,42          | –                 | 5,8   | 0     | 3,63            | 140      | 45             |
|          | 45–100   | 7,5                      | 7,4         | 0,56          | 32,02             | –     | –     | 1,15            | 360      | 34             |
| Szelvény | Réteg    | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | pH<br>(KCl) | Humusz<br>(%) | CaCO <sub>3</sub> | y1    | y2    | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
| MVP82    | 0–2      | 5,93                     | 5,23        | 5,43          | –                 | 17,9  | 1,1   | 2,9             | 200      | 60             |
|          | 2–18     | 4,21                     | 3,44        | 1,49          | –                 | 38,35 | 27,35 | 1,35            | 220      | 34             |
|          | 18–50    | 4,49                     | 3,57        | 0,86          | –                 | 22,9  | 13,15 | 2,23            | 220      | 38             |
|          | 50–100   | 4,8                      | 3,82        | 0,51          | –                 | 11,25 | 3,15  | 1,69            | 310      | 33             |
| Szelvény | Réteg    | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | pH<br>(KCl) | Humusz<br>(%) | CaCO <sub>3</sub> | y1    | y2    | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
| MVP99    | 0–8      | 4,73                     | 4,37        | 5,07          | –                 | 33,5  | 0,9   | 2,49            | 150      | 47             |
|          | 8–51     | 4,91                     | 4,03        | 0,98          | –                 | 20,4  | 4     | 2,68            | 290      | 37             |
|          | 51–91    | 7,47                     | 7,2         | 0,14          | 12,06             | –     | –     | 1,24            | 470      | 37             |
|          | 91–      | 7,78                     | 7,68        | 0,97          | 71,93             | –     | –     | 1,21            | 230      | 50             |

## A 2. melléklet folytatása / Continuation of Annex 2

| Szelvény   | Réteg  | pH (H <sub>2</sub> O) | pH (KCl) | Humusz (%) | CaCO <sub>3</sub> | y1    | y2   | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
|------------|--------|-----------------------|----------|------------|-------------------|-------|------|-----------------|----------|----------------|
| MVP117     | 0–7    | 6,28                  | 6,1      | 4,74       | –                 | 12,85 | 0,8  | 2,03            | 160      | 42             |
|            | 7–20   | 4,56                  | 4,1      | 1,45       | –                 | 23,4  | 5,7  | 1,49            | 150      | 35             |
|            | 20–50  | 4,58                  | 3,71     | 0,74       | –                 | 22,3  | 12   | 2,63            | 110      | 38             |
|            | 50–100 | 6,63                  | 5,66     | 0,43       | –                 | 34,65 | 0,55 | 3,39            | 75       | 43             |
| Szelvény   | Réteg  | pH (H <sub>2</sub> O) | pH (KCl) | Humusz (%) | CaCO <sub>3</sub> | y1    | y2   | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
| MVP118     | 0–10   | 4,2                   | 3,76     | 4,09       | –                 | 42,25 | 9,65 | 1,77            | 150      | 49             |
|            | 10–27  | 3,83                  | 3,42     | 1,3        | –                 | 38,65 | 26,4 | 1,32            | 220      | 37             |
|            | 27–52  | 4,41                  | 3,66     | 1,08       | –                 | 19,15 | 8,25 | 2,33            | 210      | 37             |
|            | 52–90  | 5,46                  | 4,7      | 0,49       | –                 | 9,2   | 0,65 | 2,01            | 260      | 37             |
|            | 90–    | 7,9                   | 7,18     | 0,2        | 12,47             | –     | –    | 1,47            | 270      | 32             |
| Szelvény   | Réteg  | pH (H <sub>2</sub> O) | pH (KCl) | Humusz (%) | CaCO <sub>3</sub> | y1    | y2   | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
| MVP119–120 | 0–6    | 5,37                  | 5,66     | 5,31       | –                 | 36,4  | 0,8  | 2,32            | 150      | 58             |
|            | 6–24   | 4,1                   | 3,58     | 1,53       | –                 | 35,45 | 23,4 | 1,34            | 200      | 34             |
|            | 24–55  | 4,84                  | 3,99     | 0,54       | –                 | 13,8  | 2,85 | 2,48            | 200      | 36             |
|            | 55–105 | 5,35                  | 4,42     | 0,37       | –                 | 7,95  | –    | 1,9             | 300      | 37             |
| Szelvény   | Réteg  | pH (H <sub>2</sub> O) | pH (KCl) | Humusz (%) | CaCO <sub>3</sub> | y1    | y2   | hy <sub>1</sub> | 5 h kap. | K <sub>A</sub> |
| MVP126     | 0–7    | 4,7                   | 4,43     | 5,12       | –                 | 36,5  | 1,2  | 2,51            | 160      | 50             |
|            | 7–15   | 3,97                  | 3,39     | 1,56       | –                 | 43,25 | 34   | 1,54            | 190      | 37             |
|            | 15–52  | 4,32                  | 3,45     | 0,78       | –                 | 29,55 | 21   | 2,25            | 180      | 39             |
|            | 52–86  | 6,12                  | 6,05     | 0,7        | –                 | 8,9   | 0,25 | 2,14            | 250      | 48             |
|            | 86–    | 7,61                  | 7,58     | 0,58       | 6,2               | –     | –    | 3,94            | 75       | 42             |

Megjegyzés: a CaCO<sub>3</sub> y1 és y2 talajparaméterek mérése az adott minta pH értékétől függ. Ha a pH>7, akkor CaCO<sub>3</sub>-at mértünk. Ha a pH<7, akkor y1-et mértünk. Amennyiben a talaj savasabb karakterű volt (y1>8), akkor történt az y2 vizsgálata is.

## Felhasznált irodalom

- Aicardi I., Dabove P., Lingua A.M. & Piras M. 2016: Integration between TLS and UAV photogrammetry techniques for forestry applications. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 10(1): 41–47. <https://doi.org/10.3832/for1780-009>
- Bartha D., Bidló A., Borhidi A., Bölöni J., Czajlik P., Esztó P., Forró E., Hahn I., Horváth F., Kovács G., Maglóczky Zs., Máza K., Oroszi S., Siller I., Somogyi Z., Standovár T., Temesi G. & Traser Gy. 2002: Az erdőrezervátum fogalma. In: Horváth F. & Borhidi A. (eds.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei, 15–16.
- Christensen M., Hahn K., Mountford E.P., Ódor P., Standovár T., Rozenberger D. et al. 2005: Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest Ecology and Management* 210: 267–282. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.032>
- Czajlik P. 1989: Vándortáborból az „őserdő” rezervátumig. In: Soproni Egyetem: Az Erdészeti és Faipari Egyetem lapja, 89/1 (természetvédelmi különszám), pp. 36–39.
- Czajlik P. 1994: Megtörtént a magyarországi erdőrezervátum-hálózat végleges kijelölése. *Környezet és Fejlődés* 5(2): 36–38.
- Erdőterkép 2024: Magyarországi Erdészeti Webterkép. Elérés: <https://erdoterkep.nebih.gov.hu/>. Elérve: 2024. 03. 19.
- GreenValley International 2024: LiDAR360 User Guide. LiDAR point cloud processing and analyzing software. [https://greenvalleyintl.com/gvi/web/us/file/EN-LiDAR360\\_UserGuide.pdf](https://greenvalleyintl.com/gvi/web/us/file/EN-LiDAR360_UserGuide.pdf)



- Horváth F. 2012: Módszertani fejlesztések az erdőrezervátumok hosszú távú faállomány-szerkezeti kutatásához. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola, Sopron, 125 pp. Egyéb URL
- Horváth F. & Borhidi A. (eds.) 2002: A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, 289 pp.
- Karpiński L., Maák I. & Wegierek P. 2021: The role of nature reserves in preserving saproxylic biodiversity: using longhorn beetles (Coleoptera: Cerambycidae) as bioindicators. The European Zoological Journal 88: 487–504. <https://doi.org/10.1080/24750263.2021.1900427>
- Király G., Molnár Zs., Bölöni J., Csiky J. & Vojtkó A. (eds.) 2008: Magyarország földrajzi kistájainak növényzete. MTA ÖBKI, Vácrátót, 248 pp.
- LaRue E.A., Wagner F.W., Fei S., Atkins J.W., Fahey R.T., Gough C.M. et al. 2020: Compatibility of Aerial and Terrestrial LiDAR for Quantifying Forest Structural Diversity. Remote Sensing 12(9): 1407 <https://doi.org/10.3390/rs12091407>
- Luo X-L., Jiang N., Li H-B., Xiao H-X., Chen X-Z. & Zhou J-W. 2024: A High-Precision Modeling and Error Analysis Method for Mountainous and Canyon Areas Based on TLS and UAV Photogrammetry. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 17: 7710–7724. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3382092>
- Mátyás Cs. 1993: Erdőrezervátum: új koncepció tör utat. Erdészeti Lapok 128 (1):13. Teljes szöveg
- Ódor P., Bölöni J. & Standovár T. 2009: Felvételezési protokoll az aljnövényzet mintavételére az erdőrezervátum hosszú távú vizsgálatsorozat (HTV) keretében. Kézirat, ER Archivum Vácrátót, 2 p.
- Ódor P., Heilman-Clausen J., Christensen M., Aude E., van Dort K. W., Piltaver A. et al. 2006: Diversity of dead wood inhabiting fungi and bryophytes in semi-natural beech forests in Europe. Biological Conservation 131: 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.02.004>
- Ökológiai Kutatóközpont 2024: Remetekert Erdőrezervátum. Elérés: <https://erdorezervatum.hu/Remetekert>. Elérve: 2024. 03. 19.
- Parviainen J., Kassiomis K., Bücking W., Hochbichler E., Päivinen R. & Little D. 2000: Forest reserves research network in Europe. Mission, Goals, Outputs, Linkages, Recommendations and Partners. Final Report, COST Action E4. The Finnish Forest Research Institute, Joensuu Research Station, 28 p.
- Sabatini F.M., Burrascano S., Keeton W.S., Levers C., Linder M., Pötschner F. et al. 2018: Where are Europe's last primary forests? Diversity and Distributions 24 (10): 1426–1439. <https://doi.org/10.1111/ddi.12778>
- Sabatini F.M., Hendrik B. et al. 2021: European primary forest database v2.0. SCIENTIFIC DATA 8(1) Paper: 220, 14 p. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00988-7>
- Somogyi Z. 2002: 5. Az erdőrezervátumokban folytatandó kutatások általános célkitűzései In: Horváth F. & Borhidi A. (eds.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei, 83-87.
- Standovár T., Ódor P., Aszalós R. & Gálhidy L. 2007: Sensitivity of ground layer vegetation diversity descriptors in indicating forest naturalness. Community Ecology 7: 199–209. <https://doi.org/10.1556/ComEc.7.2006.2.7>
- Temesi G., Mázsza K. & Horváth F. 2002: 3. Az Erdőrezervátum-program jogi, szervezeti és infrastrukturális keretei. In: Horváth F. & Borhidi A. (eds.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei, 27-59.
- Torrallba J., Carbonella-Rivera J.P., Ruiz L.Á. & Crespo-Peremarch P. 2022: Analyzing TLS Scan Distribution and Point Density for the Estimation of Forest Stand Structural Parameters. Forests 13(12): 2115. <https://doi.org/10.3390/f13122115>
- Uhl B., Wölfling M. & Fiedler K. 2020: Understanding small-scale insect diversity patterns inside two nature reserves: the role of local and landscape factors. Biodiversity Conservation 29: 2399–2418. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01981-z>
- Vandekerckhove K., De Keersmaeker L., Menke N., Meyer P. & Verschelde P. 2009: When nature takes over from man: Dead wood accumulation in previously managed oak and beech woodlands in North-western and Central Europe. Forest Ecology and Management 258(4): 425–235. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.055>
- Wölfling M., Uhl B. & Fiedler K. 2020: Ecological Drift and Directional Community Change in an Isolated Mediterranean Forest Reserve—Larger Moth Species Under Higher Threat. Journal of Insect Science 7: 1–10. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa097>
2009. évi XXXVII. törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról

Érkezett: 2024. szeptember 27.

Közlésre elfogadva: 2025. január 28.



### Álcahló természetes alapanyagokból

A lepkehernyóknak létérdekük, hogy elkerüljék az utánuk kutató rovarevő énekesmadarakkal való közeli találkozást. Ennek érdekében számos vizuális trükköt alkalmaznak. A foltos zöldaraszoló (*Comibaena bajularia*) fő tápnövényei a tölgyek és a bükk. Hernyója levéltörmelékből, rügypikkelyekből készít magának „álcahlót”, aminek segítségével kiválóan beleolvad környezetébe.

**Fotó és szöveg: Csóka György (SOE ERTI)**

# A LOMBKORONA KUTATÁSOK JELENTŐSÉGE ÉS FŐBB MÓDSZEREI

Eötvös Csaba Béla

Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológiai és Erdőművelési Osztály

## Kivonat

A klímaváltozás következtében egyre gyorsuló változásokat tapasztalunk a lombkoronában, mely kihat az ott élő közösségekre is. Ezek a közösségek a teljes szárazföldi biodiverzitás felét adják. Ahhoz, hogy segíteni tudjuk az ökológiai egyensúly fenntartását, fontos a lombkorona kutatása, amire a kutatók figyelve 1980-as években terelődött. Majd nagyon gyorsan használatba vették a meglévő eszközöket és újakat fejlesztettek. Ebből a széles eszköztárból a céljainknak megfelelő kiválasztása gyakran nehézségekbe ütközhet. Ez az összefoglaló munka ezekben a helyzetekben kíván segítséget nyújtani mindamellett, hogy rámutat, hogy mely módszerekkel, milyen az erdőszetben is használható gyakorlati tudást tudunk megszerezni.

**Kulcsszavak:** módszertan, mérsékelt öv, felhasználási terület, gyakorlati alkalmazás

## WHY WE SHOULD RESEARCH CANOPY PROCESSES AND WHAT METHODS ARE AVAILABLE

### Abstract

As a result of climate change, we are experiencing accelerating changes in the canopy, affecting the communities that live there. These communities make up half of the total terrestrial biodiversity. To help maintain the ecological balance, canopy research is important, and researchers began to focus on it in the 1980s, quickly adopting existing tools and developing new ones. Choosing the right one for our purposes can often be difficult from this wide range of tools. This synthetic work is intended to help in these situations while pointing out the methods that can be used to acquire practical knowledge that can be applied in forestry.

**Keywords:** methodology, temperate zone, field of application, application in practice

## BEVEZETÉS

A klímaváltozás következtében nagymértékű változások várhatóak a lombkoronában. A lombkorona kutatásának az erdőszeti kutatásokban is kiemelkedő szerepe van, mivel a szárazföldi sokféleség 50%-ának a fák lombkoronája ad otthont és a koronában zajló ökofiziológiai folyamatok is

meghatározóak. A lombkoronán belül változik a levelek fiziológiája és fenológiája (Nakamura et al. 2010, 2015) és a termésmennyiség sem homogén (Nakamura et al. 2015). A lombkoronában számos mikroélőhely található, melyek mind specifikus mikroklímával rendelkeznek, ami a klímaváltozás miatt megváltozik (Sallé et al. 2021). Ezek elsősorban a specialista élőlényeket érintik negatívan, de összességében a lombkoronában élő közösségek is átalakulnak (Sallé et al. 2021). Ugyanakkor a felső és alsó lombkoronaszintre másképp hat a klímaváltozás, miközben egyes fafajokra kifejezetten pozitív hatásai is lehetnek (Wang et al. 2023).

Nemzetközi konszenzus szerint az 1980-as éveket megelőzően néhány kivétellel nem volt kiterjedt direkt kutatása a lombkoronának. A legtöbb eszköz, ami lehetővé tette a lombkorona kutatást már rendelkezésre állt korábban is (kötelek, állványzatok, toronydaruk), azonban nem, vagy csak ritkán használták erre a célra. Más eszközök, mint a távérzékelésben használt műholdak, drónok csak később jelentek meg, váltak általánossá. Ma már a lombkorona kutatás egyes eszközei, mint a lombkorona tanösvények az oktatáson és a turizmuson keresztül hívják fel a figyelmet a fejünk fölötti létező fontosságára (Lowman 2021).

A lombkorona kutatások elsősorban a trópusokra koncentráálódtak, mivel úgy tartották, hogy a mérsékelt övben a lombkoronán belül homogénebb a fajok eloszlása, mint a trópusokon (Ulyshen 2011). Az elmúlt 10–15 évben viszont rámutattak arra, hogy a mérsékelt övben is van a lombkoronán belül strukturáltság. Kimutatták ezt a parazitoidokra (Stireman et al. 2012, Šigut et al. 2018), bogarakra, legyekre (Maguire et al. 2014) és a hernyóközösségekre (Seifert et al. 2020).

Ma már egyértelmű, hogy a lombkorona kutatásnak nem csak a trópusokon, hanem a mérsékelt övben, így Magyarországon is van tere. Jelen közlemény célja, hogy röviden összefoglalja az erdészeti kutatások során is alkalmazható legfontosabb módszereket.

## A LOMBKORONA KUTATÁS ESZKÖZEI ÉS MÓDSZEREI

A lombkorona vizsgálható több perspektívából is: talajról, lombkoronán belülről, vagy a lombkoronán felülről. Talajról elérhetjük a lombkoronát idomított állatokkal, mechanikus mintavevőkkel (pl. sörétes puska), terelőfelületes csapdákkal és függőnyhálókkal, illetve ködpermetezéssel vagy megfigyelhetjük távcsővel. A lombkoronából a talajra hulló termés és levél, illetve egyéb szerves anyag, mint a hernyóürülék mennyisége gyűjtőkosarakkal mintázható. A lombkoronába felmászhathunk kötelek segítségével, vagy használhatunk létrákat, állványokat, lombkorona tanösvényeket. Ilyen célra használhatjuk még a különböző céllal épített tornyokat (meteorológiai- és adótornyok, kilátók stb.) illetve kötélpályákat, sífelvonókat is. Költségesebb eszközök közé tartozik a telepített toronydaru. A lombkorona fölé juthatunk hőlégballonnal és egy speciálisan kiépített "tutajjal" leszállhatunk a lombkorona tetejére. A különböző távérzékelési eszközök (drónok, műholdak) is felülről mutatják meg számunkra a lombkoronát. A lombkoronából vett minták DNS tartalma alapján az ott élő fajok meghatározhatóak (Didham & Fagan 2004).

### Idomított állatok

Idomított állatok segítségével zömmel a mozgásra nem képes résztvevőit tudjuk vizsgálni a lombkoronának (epifitonok, termések stb.). Ezek az állatok a lombkoronában mind horizontálisan,



mind vertikálisan jól mozognak, így a lombkorona-légkör határt leszámítva jól használhatóak mintavételezésre. A mintavétel könnyen ismételhető, viszont a hosszú távú monitorozás bonyolulttan kivitelezhető. Mivel a betanított állatok csak a vizsgálati objektumot veszik célba, így a környezetre gyakorolt káros hatás elhanyagolható. A költségek közepesek, azonban az idomítás folyamata nehézkes és hosszadalmas. A módszert főleg botanikai és növényfenológiai vizsgálatokban használták (Didham & Fagan 2004).

### Mechanikus mintavevők

Az ágvgágók, sörétes puskák és az ezekhez hasonló eszközök segítségével a lombkoronából minden olyan élőlény begyűjthető, mely a zavarás hatására nem ugrik/repül el. A mintavétel a lombkorona egy szűk területéről lehetséges. A lombkorona-légkör határ a talajról csak speciális esetben érhető el. Ismétléses vizsgálatok és a hosszú távú monitorozás általában lehetséges. Az élővilágra gyakorolt hatás elérheti a közepes szintet a nem mindig precíziós mintavétel miatt. Fő előnyei az alacsony költségek, az egyszerű kivitelezhetőség, a rugalmas mintavétel és a nagy mintaterület. Hátránya, hogy a löfegyver használat engedélyhez kötött, gyakorlat szükséges a használatához és az ágvgágó korlátozza a mintavételi magasságot. Általánosan használják ezeket az eszközöket növény-rovar interakciók térképezésére és növényélettani kérdések megválaszolására (Didham & Fagan 2004).

Johnson et al. (1994) távérzékeléses adatok földi validációjához használta mintagyűjtő eszköznek a sörétes puskát. A klorofiltartalom, a teljes nitrogén tartalom és levélfelület index erős korrelációt mutatott, míg az egyes spektrumok és a keményítő tartalom között nem találtak összefüggést.

A talaj nitrogén tartalma függvényében a lomb biokémiai folyamatai másképpen változhatnak. Kimutatták, hogy bizonyos koncentráció felett további nitrogén talajba juttatása nem eredményez a lomb nitrogén mennyiségében változást. Azonban a magasabb nitrogén tartalom mellett a túlevelűek klorofill tartalma és a szezonális ingadozása is nagyobb (Billow et al. 1994). Esőerdőkben ilyen mintavételi módszerrel mutatták ki, hogy a lombfogyasztók a fiatalabb leveleket preferálták az idősebb levelekkel szemben, a talajhoz közelebb intenzívebb volt a lombfogyasztás, az árnyékleveleket nagyobb mértékben fogyasztották, mint a fényleveleket. Ugyanakkor kimutatták, hogy kis léptékben nagy variáció mutatkozik az egyes ágak és levelek szintjén a lombfogyasztás mértékében és ahol a tápnövény nagyobb egyedsűrűségben van jelen, ott a fogyasztói is gyakoribbak (Lowman 1985).

A Leltározó Lucfenyő Származási Kísérlet során, mely 13 ország 20 kísérletéből tevődik össze (köztük a nyírjesi kísérlet) az egyes származások összevetésére genetikai vizsgálatokat végeztek. Ehhez a friss hajtásban lévő mitokondriális DNS-t használták, melynek a legegyszerűbb gyűjtési eszköze a sörétes puska (Sperisen et al. 1998). A nagyszabású kísérlet 1968-as kezdetekor várt eredményeit ugyan nem sikerült elérni, hiszen hazánkban a lucfenyő termesztetősége nagy mértékben visszaszorult a klímaváltozás következtében, mégis fontos információkkal gazdagodtunk az évtizedek alatt (Mátyás & Ujváriné 2016).

A vákuumos rovarporszívó (D-Vac) ugyan elsősorban a fűhálózás alternatívája, azonban a lombkoronában élő röpképes és ugró rovarok mintázására alkalmasabb módszer, mint a kopogtatás (Herms et al. 1990).

## Terelőfelületetes csapdák, függőnyhálók, feromoncsapdák

Az eddigiekkel szemben ezek a módszerek kifejezetten az aktívan mozgó élőlényeket célozzák. Csalétek nélkül egyszerűen a mozgási aktivitásukat vizsgálhatjuk, míg csalétekkel a táplálkozási aktivitásukat vagy feromon esetén a rajzási fenológiájukat figyelhetjük meg. Ezek az eszközök horizontálisan szűk, míg vertikálisan széles térbeli leképezést adnak. Könnyen ismételhetőek és kifejezetten alkalmasak hosszú távú monitorozásra. Élővilágra gyakorolt hatásuk általánosan alacsony, csak a nem célfajok csapdába esését lehet említeni káros hatásként. Előnyei, hogy a költségek relatíve alacsonyak, egy ember el tudja végezni a mintagyűjtést és az standardizált és kvantitatív. Hátránya, hogy a nem aktív egyedekről nem szolgáltat információt. Felhasználási területe az ízeltlábúak, madarak és denevérek kvantitatív monitoringja (Didham & Fagan 2004).

Ezen módszerek közé olyan erdészetileg fontos csapdák tartoznak, mint amelyekkel hazai és inváziós díszbogarak monitorozhatóak (Imrei et al. 2020). A függőnyhálók a közismert madárvonulási vizsgálatokon túl használhatóak az egyes fajok erdőben szokásos repülési magasságának vizsgálatára is. Ezek elsősorban a táplálkozási guildék alapján meghatározottak, azonban szezonális és korfüggő elemei is lehetnek (Tattoni & LaBarbera 2022).

A kis téliaraszó rajzását feromoncsapdákkal vizsgálva kimutatták, hogy 1 méteres magasságban a napnyugta után fél órával, 5 méteres magasságban 3 órával, 10 méteres magasságban 6 órával és 15 méteres magasságban 6 és fél órával a napnyugta után fogták az első egyedeket. Az átlagosan befogott egyedek száma a magassággal fordított arányosan csökken (Ambrus & Csóka 1988, 1992).

Sárospataki & Markó (1995) Malaise csapdákat használva kimutatta, hogy a hétpettyes katica (*Coccinella septempunctata*) ugyan a csejesszintben aktív a május–júniusi időszakban, azonban tömegesen nagyobb távolságokra, megfelelő időjárási körülmények között (kellően magas hőmérséklet és alacsony szélesebség) a lombkoronában, vagy a felett vonul telelni július végén, augusztus elején.

## Ködpermetezés

Az összes felsorolt technika közül ez a legdestruktívabb. Rovarölő szerekkel a teljes lombkoronát elködösítik, majd a lehulló rovarokat vizsgálják. Legjobban a repülő rovarok mintázására alkalmas, hiszen a mászó rovarok lehullásához még egy plusz mechanikai hatásra is szükség van általában. A lombkoronát közel teljes magasságában mintázza, azonban a mintagyűjtők csak relatíve kis területen gyűjtenek. Ugyan azon a területen gyakorlatilag lehetetlen az ismétlés rövidebb időtávon belül és hosszú távú monitorozásra sem a legalkalmasabb módszer. Az élővilágra gyakorolt hatása közvetve és közvetlenül is erős, mivel gyakorlatilag megoldhatatlan a szelektív mintagyűjtés és még lebomló szerek alkalmazásával is károsíthatja a rovarrevő szervezeteket. Mindezek ellenére, amikor minden, az adott helyen élő faj megismerése a cél (taxonómia, fajdiverzitás, közösségek összetétele), akkor megfelelő körülménnyel használható módszer (Didham & Fagan 2004).

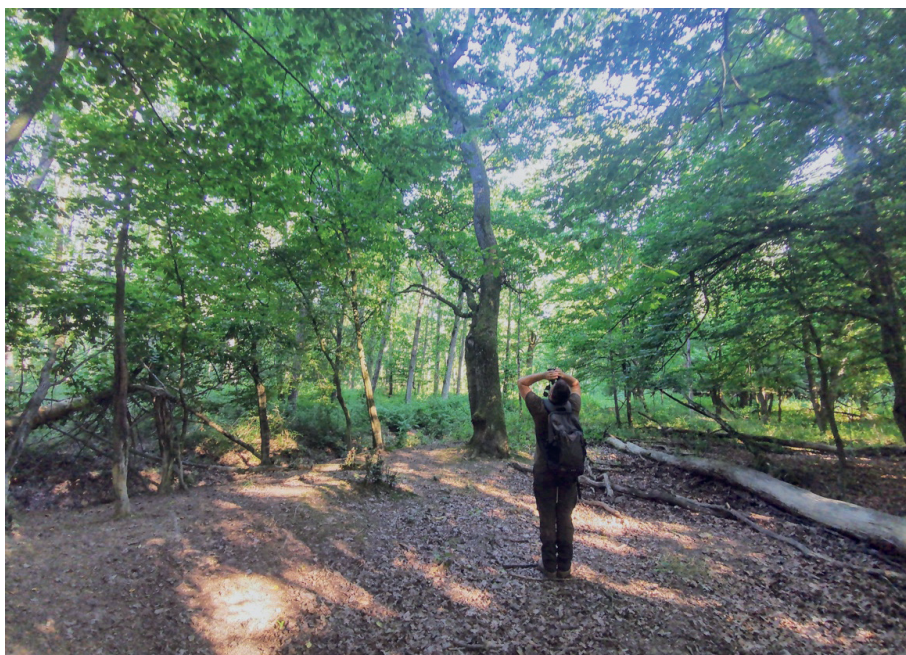
Ugyan a ködpermetezés elsősorban a trópusokon használt technika, de mérsékelt övben is előfordul az alkalmazása. Így térképezték fel például Kelet-Lengyelország levéldarázs (*Symphyta*) együtteseit (Floren & Karus 2006).



## Távcsöves megfigyelés

Horizontálisan jó, vertikálisan korlátozott megfigyelést tesz lehetővé, míg a lombkorona-légkör határ vizsgálatára csak ritkán ad lehetőséget. A mintavétel jól ismételhető, hosszú távú monitorozásra kifejezetten alkalmas módszer. Az élővilágra csak a megfigyelő mozgása hat zavaróan. Előnyei az alacsony költségek és a gyors adatfelvétel. Az egymást takaró ágak vizsgálata azonban nehézkes és a mintavétel gyakran szubjektív becslésen alapul. Ezért a távcsöves megfigyelésnél fontos, hogy jól bevált módszereket alkalmazzunk, ellenkező esetben szükséges azok validálása. Használják gerincesek populációs vizsgálataiban, fenológiai és erdő-egészségállapot felmérésekben (Lowman & Wittman 1996).

A hazánkban 1988 óta működő Erdészeti Mérő- és Megfigyelő Rendszer (EMMRE) (NFK 2021) protokollja kitér a lombkoronát érintő károkra is, megfigyelésükre, becslésükre pedig a távcsöves módszert javasolják (Stuller 2009). A rendszer által gyűjtött adatok szabadon hozzáférhetőek az éves jelentésekben, melyek a rendszer honlapjáról letölthetőek. A hosszú távú adatsorok alapján általánosan elmondható, hogy erdeink egészségi állapota elsősorban a szélsőséges időjárási tényezők gyakoriságának és intenzitásának növekedése következtében folyamatosan romlik, fogékonyabbá válnak az egyes biotikus kárformákra (Janik 2021, Koltay 2006). A tölgy-csipkéspoloska (*Corythucha arcuata*) terjedését befolyásoló tényezők felméréséhez szintén távcsöves megfigyelést használtak (1. ábra) (Eötvös et al. 2023a).



1. ábra: Távcsöves mintavétel Ivánc közelében

Figure 1: Data collection with binocular near Ivánc, Hungary

## Gyűjtőkosaras mintavétel

A teljes lombkorona magasságból gyűjti a mintát, azonban a horizontális kiterjedést a gyűjtőkosarak száma szabja meg. A mintavétel jól ismételhető, azonban a hosszú távú monitorozás nem mindig kivitelezhető. Az élővilágra nincs negatív hatása. Előnye az olcsó és könnyen kivitelezhető mintavétel. Lomb- és terméshullás menetének vizsgálatára, illetve hernyó biomassza becslésére használják (2. ábra) (Hirka 2003, Tinbergen & Dietz 1994).

A makktermés fontos másodhaszonvételi forrás erdeinkből. A makkhullás menete, különböző kár- és kórokozókval való fertőzöttségének mértéke ehhez fontos információkat szolgáltat. Hirka (2003) kimutatta, hogy az egészséges makkok a makkhullási periódus végén, leghamarabb szeptember közepétől kezdenek hullani.

Tinbergen & Dietz (1994) kimutatta, hogy a hernyók táplálkozási aktivitása tisztán hőmérséklet függő csapadéktól mentes időjárás mellett. Ezáltal a vászonnal bélelt kosarakkal gyűjtött hernyóürülék mennyiségéből számítható a lombkoronában lévő hernyó biomassza mennyisége.

A módszer költséghatékony, azonban munkaerő igényesebb verziója a rögzített kvadrátos mintavétel. Ennek segítségével sikerült kimutatni, hogy rovarevő madarak megtelepülését követő rövid időn belül javul a makktermés minősége és ez hozzájárul a természetes megújuló képesség potenciáljának növekedéséhez (Eötvös et al. 2023b).



2. ábra: Gyűjtőkosaras mintavevő a Mátrában

Figure 2: Data collection using basket in Mátra mountain, Northern Hungary

## Környezeti DNS elemzés (metabarcoding)

A környezetből gyűjtött minták DNS tartalma ma már elegendő ahhoz, hogy az egyes mintaterületeken élő fajokat azonosíthassuk. Nehézséget okoz, hogy a gyűjtött minta térbeli származását nem mindig tudjuk teljes bizonyossággal kijelenteni. A módszer jól ismételhető és hosszú távú monitorozásra is alkalmas. A környezetre gyakorlatilag nincs negatív hatása. Hátrányai, hogy egy előzetesen kialakított DNS könyvtárra van szükség a fajok meghatározásához, és a labormunka költséges. Főleg egyes élőhelyek diverzitásának felmérésére és közösségeinek megismerésére használják (Roger et al. 2022).

A rovarölő szerek negatív hatásai egyértelműek, míg a célzott, fajspecifikus hatóanyagok használata elfogadottabb. Azonban a DNS metabarcoding módszerével kimutatták németországi erdőkben, hogy a *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* hasonló közvetett hatásokkal bír az ízeltlábú közösségekre, mint a diflubenzuron kitinszintézis gátló rovarölő szer, csak a mértékben tapasztaltak különbséget (Leroy et al. 2022). Akár arra is lehetőségünk lehet ennek a módszernek a segítségével, hogy madarak ürülékéből állapítsuk meg a táplálékbázisukat (Shutt et al. 2021).

## Alpintechnika

Az alpintechnika hozta el a tudományos köztudatba a lombkorona kutatást, mint önálló kutatási terület. Egy adott fa majdnem a teljes magasságában mintázható, viszont ahhoz, hogy egy másik fára feljuthassunk, újra ki kell építeni a kötélzetet. Könnyen ismételhető a mintavétel, azonban a hosszú távú monitorozás akadályokba ütközhet. Az élővilágra minimális káros hatással van, főként a kötel károsodását lehet említeni. Alapvetően az olcsóbb technikákhoz tartozik, a kivitelezés könnyű, amennyiben megfelelő állóképességgel rendelkezik a mintavevő. Fő hátrányai, hogy a vékonyabb ágak nehezen elérhetőek. A felhasználási területe az egyik legváltozatosabb (Didham & Fagan 2004, Lowman 2021).

Trópusokon a lombkoronán belül, különböző magasságból gyűjtött levelek között csak néhány morfológiai és ökofiziológiai trendet tudtak kimutatni. A levélfelület és a nitrogéntartalom közepes magasságban, míg a gázcsere nyílások száma és a levélfelülethez viszonyított tömeg a lombkorona tetején volt a legmagasabb (Barker & Booth 1996). Az amerikai duglászfenyő lombkorona vizsgálata során kimutatták, hogy a regenerálódó és a gyérített állományokban a lombfogyasztók és a ragadozók egyedsűrűsége drasztikusan lecsökken. A regenerálódó állományokban a toboztevők (Adelgidae) szinte egyeduralkodóvá váltak és szinte teljesen eltűntek a törmelékevő ízeltlábúak. A beavatkozás-mentes 150 és 450 éves erdők közötti fő különbség abban mutatkozott, hogy a 450 éves erdőben a ragadozó-lombfogyasztó arány és a diverzitás is növekedett (Schowalter 1995).

## Lombkorona tanösvények

Manapság főleg turisztikai és oktatási szerepük van, azonban eredetileg azért hozták létre őket, hogy állandó platformot nyújtson a kutatóknak, miközben nyitnak a természet iránt érdeklődő emberek felé. Mivel állandó építmények, így mind horizontálisan, mind vertikálisan behatárolják a kutatás térbeli hozzáférését. Kifejezetten alkalmasak hosszú távú monitorozások kivitelezésére. Az élővilágra a létesítések nagy hatással van, azonban a fenntartása és a kutatómunka nem jár további



környezetkárosítással. A költségei összességében magasabbak, főleg, ha nagy méretű lombkorona sétány épül. A használatát is általában a létesítés lehetőségei korlátozzák. Legfontosabb előnyei, hogy kényelmes, stabil platformot biztosít akár nagyobb kutatócsoportok számára is. Azonban ez az előny egyben a hátránya is, mivel a stabilitás együtt jár a mintavétel térbeli korlátozottságával. Eredetileg főleg gerincesek viselkedésetkológiai megfigyelésére és erdődinamikai vizsgálatokra használták (Didham & Fagan 2004).

Az erdőirtás mértékének csökkentése és az erdei biodiversitás fontosságának tudatosítása közösségi feladat. Ahhoz, hogy a mindennapokban is köztudatba kerüljenek ezek a problémák, fontos élményközpontú oktatást folytatni, melynek jó eszközei a lombkorona tanösvények (Lowman 2009). Magyarországon is számos lombkorona tanösvény található, melyek közül a legjelentősebbeken oktatási tevékenységet is folytatnak, mint pl. a Nyíri erdőben lévő Vackor Vár Erdei Iskolában (3. ábra, 1. táblázat).



3. ábra: A kaszói lombkorona sétány  
Figure 3: Canopy walkway near Kaszó, Hungary

### Létrák, ideiglenes állványok, emelőkosaras kocsik

Általában könnyen mozgatható eszközök, melyek segítségével sok fa mintavételezése lehetséges, azonban csak korlátozott magasságtartományban. Ismétlés könnyen kivitelezhető, azonban hosszú távú monitorozásra nem használják. Ennek a technikának jellemzően már magasabb költségei lehetnek, kifejezetten az emelőkosaras kocsi esetében (járműköltség, gépkezelő stb.). Élőhelyre gyakorolt hatásai között elsősorban a járművek talajnyírása sorolható fel. Fő előnyei, hogy egy stabil platformot biztosít a mintavételhez és nagy mintaelemszám érhető el vele. Hátránya, hogy a létrák kivételével csak jól megközelíthető helyeken használhatóak. Használják lombfogyasztók, beporzók vizsgálatára, illetve ökofiziológiai és vegetációdinamikai kutatásokban (Didham & Fagan 2004).

Emelőkosaras kocsik segítségével mutatták ki, hogy a mérsékeltővi árnyéktűrő fajok fotoszintetikus aktivitása még akkor is alacsonyabb, ha azok levelei elérik a lombkoronaszint tetejét (Bassow & Bazzaz 1997). Ugyan ilyen eszközt használták Csehországban, hogy elérjék a lombkorona különböző szintjeit és kopogtatással gyűjtött adatok alapján meg tudják határozni, hogy az egyes fülbemászó fajok milyen vertikális preferenciával rendelkeznek (Kirstová et al. 2017).

1. táblázat: A jelentősebb lombkorona tanösvények Magyarországon és főbb adataik  
(Kardos & Kardos (2024) alapján)

Table 1: Important canopy walkways in Hungary and their main data  
(according to Kardos & Kardos (2024))

| Lombkorona tanösvény    | Hossz (m) | Magasság (M) |
|-------------------------|-----------|--------------|
| Makó                    | 191       | 10–18        |
| Kaszó                   | 124       | 9            |
| Sás-völgy               | 50        | 6            |
| Gyomaendrőd             | ~150      | 15           |
| Ipolytarnóc             | 150       | 8–10         |
| Lengyel-Annafürdő       | 30        | 8–10         |
| Pannonhalma             | 80        | 14           |
| Jeli Arborétum          | 130       | 10           |
| Karcagi Parkerdő        | 314       | 6            |
| Tardosi                 | 105       | 11           |
| Nagykörű                | 300       | 8            |
| Vackor Vár Erdei Iskola | ~50       | 4–11,5       |

### Meteorológiai- és adótornyok, kilátók

A lombkorona tanösvényekhez hasonlóan használható építmények, azonban horizontálisan szűkebb, míg vertikálisan jellemzően tágabb leképezést adnak (4. ábra). Kifejezetten alkalmasak a lombkorona-léggör határ vizsgálatára, illetve sok esetben a lombkorona feletti vizsgálatokat is lehetővé teszik. Hosszú távú monitorozásra kifejezetten alkalmasak. Ebben az esetben is szinte csak az építés jár környezetkárosító folyamatokkal, csak az adótornyok nagyenergiájú sugárzása zavarhat egyes szervezeteket állandó jelleggel. Másodlagos hasznosításuk révén nem mindig ott vannak, ahol kutatni szeretnénk, azonban stabil rögzítési felület ad különböző eszközök és műszerek számára. Ökofiziológia, fotoszintézis, gázcseré, lombkorona struktúra és fenológia a fő kutatási területek, melyekben használják, illetve ezek vertikális különbségeinek feltárására (Didham & Fagan 2004).

Futó (1964) a Bálványon lévő meteorológiai toronyban vizsgálta az erdő és a lombkorona szélesebbségre gyakorolt hatását. Kimutatta, hogy jelentős mértékben fékezi a lomb a szélesebbséget nem csak azon belül és alatta, hanem közvetlenül felette is a sűrűlódás következtében. Emellett megfigyelte, hogy minél erősebb a szél, annál nagyobb az erdő szélesebbség csökkentő hatása.



4. ábra: Időjárás megfigyelő torony a Mátrában  
Figure 4: Weather observation tower in the Mátra

### Toronydaru

Az egyik legmobilisabb kutatási eszköz azon a körön belül, amit a daru gémje átér. Mivel a telepítési költségek magasak, csak a hosszú távú monitorozás teszi rentábilissá a befektetést. A környezetre a legnagyobb káros hatás a telepítéskor van, utána csak az üzemeltetés zaja zavarja azt. Fő hátrányai a költségek, a fix mintaterület, és hogy szükséges egy szakképzett darukezelő az üzemeltetéshez. Előnye, hogy nagyobb kutatócsoportok kollaboratív együttműködését teszi lehetővé hosszú távon. Felhasználási területe nagyon változatos, a vegetációdinamikától a növény-ízeltlábú kapcsolatok vizsgálatáig (Didham & Fagan 2004).

Európában 4 toronydarut használnak kutatási és oktatási célokra, ebből 3 Németországban (Lipcse, Kranzberg és Solling), 1 pedig Svájcban (Bázel) található (Lowman 2009). Ezeken a kutatóhelyeken jellemzően több tudományterület kutatói dolgoznak együtt, mint a botanikusok, dendrológusok, entomológusok, gombászok, ornitológusok, klímakutatók stb. és a városi apparátusok, mint a környezetvédelem vagy városzöldítés is aktívan bevonásra kerülnek.

Vannak több módszert alkalmazó összetett kutatások, melyekre jó példa a Borneó szigetén található Sarawak Lombkorona Biológiai Program, melynek során tornyokat, lomkorona tanösvényeket és toronydarut is használnak párhuzamosan egy rendkívül diverz élőhelyen. A vizsgált terület érdekességét a több mint 1000 fafajon túl az adja, hogy ezen fajok között nagyon sok egyszerre virágzik 2-10 éves időközönként. Ezt a virágzás csúcsot a beporzók egyedszáma is jól követi, viszont bizonyos esetekben még ilyen természetes körülmények között is lehet beporzó hiány. A különböző csoportos virágzási események egyedi beporzó közösségekkel rendelkeznek és a kutatások rámutattak arra, hogy nem minden esetben a méhek a fő beporzók (Yumoto & Nakashizuka 2005).



A klímaváltozás hatásai is vizsgálhatóak toronydaruval. Japánban egyes ágak körüli hőmérsékletet megnövelték 5 °C-kal a környezeti hőmérséklethez képest, aminek következtében a vegetációs időszak meghosszabbodott és a termésmennyiség növekedett (Nakamura et al. 2010). Ugyanakkor az ágak melegítése nem, de talaj melegítése csökkentette a lombfogyasztás mértékét, mivel csökkent a levelek nitrogén tartalma, míg a fenol tartalma növekedett a kísérlet harmadik évére (Nakamura et al. 2015).

### Kötélpályák, kabinos felvonók

Ritkábban használt eszköz, mivel a lombkoronának általában csak a felső része vizsgálható segítségükkel, azonban az egy hosszú transzekt mentén. Szintén alkalmas hosszú távú monitorozásra. A környezetét a kezdeti építés után tovább zavarja az üzemeltetés zaja. Fő előnye a vonalas létesítése, tehát nagy területek, élőhelyek közti átmenetek vizsgálatát teszi lehetővé. Erdőszerkezeti vizsgálatokban, diverzitásvizsgálatokban, gerincesek viselkedésökológiai vizsgálatában használják (Didham & Fagan 2004).

Különböző eszközök számára készíthetünk kötélpályát, hogy úgy tudja a két végpont között vizsgálni az élőhelyet, hogy azt mozgásunkkal, taposásunkkal nem zavarjuk. Például hemiszférikus fényképezőgép és piranométer segítségével a lombkorona és cserjeszint árnyékoló képessége mérhető fel így monitoring jelleggel (Jonas et al. 2020).

### Hőlégballon, lombkorona tutaj

A módszer lényege, hogy egy hőlégballon alá egy hálós „tutajt” építenek, amivel aztán le lehet szállni a lombkorona tetejére. Nagy területek vizsgálatát teszi lehetővé, hiszen újra és újra arrébb lehet költözni vele. Azonban ez a szabadság inkább „felfedező” kutatásokra teszi alkalmassá, mint hosszú távú monitorozásra. Környezeti hatása főleg a leszállás során az ágak töréséből fakad. Limitáló tényező a szél, hiszen ez megadja, hogy a felszállás helyétől milyen irányba tud elindulni a hőlégballon. Tovább korlátozza a felhasználás lehetőségét, hogy a leszálláshoz teljesen zárt lombkorona szükséges. Előnye, hogy stabil felületen ad lehetőséget a munkavégzésre a lombkorona felett. Elsősorban ízeltlábú közösségek, illetve a lombfogyasztók vizsgálatára használt módszer (Didham & Fagan 2004).

Az „Opération canopée” missziók alatt számos rovar-tani kutatást végeztek, melyek nagyban bővítették mind a taxonómiai tudásunkat, mind azt, hogy a trópusi esőerdőkben hogy alakul a vertikális színtezettsége, egyedszáma és diverzitása az ízeltlábú közösségeknek (Delvare & Aberlenc 1989, Basset et al. 1992).

### Műholdak, légifotók

Csak a lombkorona felszínéről kapunk információt, viszont korlátlan horizontális kiterjedésben kutathatunk segítségével. A mintavétel jól ismételhető, akár hosszú távú monitorozásra is alkalmas módszer. Azonban mind a telepítési, mind a felhasználási költségei nagyon magasak (a készült műholdképek csak egy része hozzáférhető ingyenesen, az adatfeldolgozás pedig számításgépes

folyamat). További hátránya, hogy a felhőborított időszakokban és területeken nem lehet használni. Követhetők vele a lombkorona táji szintű változásai, a lomb produktivitása és különböző kémiai folyamatok (Didham & Fagan 2004).

Erdészeti gyakorlatban talán a legismertebb módszer, hiszen az erdő állapotáról lehet általános képet kapni segítségével szinte azonnal. Hazánkban is elérhető havi frissítésű erdőállapot figyelő rendszer (TEMRE), amely táji léptékben mutatja, hogy a sokéves átlaghoz képest, milyen az adott időszakban az erdeink produktivitása (Somogyi et al. 2018).

Ez a módszer alkalmas a lombot károsító inváziós fajok nyomon követésére, kifejezetten olyan helyeken, ahol a tápnövény az uralkodó fafaj. A tölgycsipkésposloska kapcsán kimutatták, hogy a megjelenését követő években csupán maximum 6 km/év terjedési sebességre képes, azonban ha kialakul egy nagy tömegességű góc, akkor onnan akár 50 km/év terjedési sebességre is képes a faj önállóan (Kern et al. 2021).

## Drónok

Az egyik legújabb kutatási eszköz, mely a lombkorona felülről való vizsgálatát teszi lehetővé. A mintavétel ismételhető, a hosszú távú monitorozás nehezebben kivitelezhető, mivel többségük maximum 5-15 éves élettartamú eszköz. Az élővilágra az üzemeltetés zaja hat zavaróan a forgószárnyas drónok esetében, a merevszárnyúak valamelyest halkabbak. Viszonylag drága eszközök, melyek üzemeltetéséhez drónpilóta szükséges. Előnyei a műholdakhoz képest a mobilitás, gyorsabb adathozzáférés, nagyobb felbontás és légköri anomáliáktól mentes kép. A lomb produktivitás vizsgálatára, káresemények (pl. széltörés, ónos eső) utáni felmérésre, gerinces állatok monitorozására, de akár inváziós fajok terjedésének követésére is alkalmas módszer (Tang & Shao 2015, Maurya et al. 2022).

A drónok alkalmasak lehetnek fenológiai vizsgálatok földi megfigyelésének a leváltására és meggyorsítására (5. ábra). Az egyedi fák közötti lombfakadás különbségek fontos információt szolgáltatnak a fajon belüli változatosságra és az alkalmazkodóképességükre (Fawcett et al. 2021). A drónok mellett, a rájuk szerelhető eszközök is fejlődnek, így az egyes területek 3D szkennelésére használt Lidarok is, mely alkalmas akár egyes ágak, levélcsoportok monitorozására is (Kellner et al. 2019). A drónokra szerelt infravörös kamera a gerincesek környezetükhöz viszonyított testhőmérséklet különbségét használja ki. Koalák esetében jobb módszernek bizonyult, mint a vizuális keresés vagy a hátrahagyott nyomok alapján történő becslés (Witt et al. 2020). Ugyanakkor, ahol több hasonló méretű faj él, csak különböző módszerek együttes használata teszi lehetővé a pontos monitorozást (Kays et al. 2019).

A drónfelvételek, a műholdképekhez hasonlóan alkalmasak tömegszaporodások (6. ábra) és inváziós fajok (7. ábra) vizsgálatára és hatásaik szemléltetésére.



5. ábra: Mátrai látkép különböző fenológiai stádiumban lévő tölgyekkel az előtérben.  
 Jól felismerhetők a még sárgás színű cserek a már sötétebb zöld kocsánytalan tölgyek között  
 Figure 5: View of the Mátra with oaks in different phenological stages in the foreground.  
 The still yellowish Turkey oaks are clearly visible between the darker green sessile oaks



6. ábra: Gyűrűs pohók és gyapjaslepke tömegszaporodása Folyás térségében 2020. 05. 26-án  
 (47° 47' 31,314" N, 21° 8' 44,632" E)  
 Figure 6: Mass outbreak of lackey moth and gypsy moth near Folyás, Hungary on 26. 05. 2020  
 (47° 47' 31,314" N, 21° 8' 44,632" E)





7. ábra: Tölgy-csipkésposloska miatt elszíneződött levelű kocsányos tölgyek egészséges levelű feketediók között.

A kép felső felében vörös tölgyek vannak, ami nem tápnövénye a tölgy-csipkésposloskának

Figure 7: Oak lace bug discoloured leaves of pedunculate oaks among healthy eastern black walnuts.

In the upper half of the image are red oaks, which are not a food plant for the oak lace bug

## Hangdetektorok, kamerák

A lombkoronába feljuttatott adatgyűjtő eszközökkel jól ismételhető kutatást végezhetünk és hosszú távú monitorozásra alkalmas módszereket dolgozhatunk ki. Az élővilágra negatív hatásuk nincs. Ma már ezek az eszközök olcsók és segítségükkel erőforrást spórolhatunk. Az adatfeldolgozást a mesterséges intelligencia segíti egyre hatékonyabban. Közösségökológiai, faunisztikai és fenológiai vizsgálatokban általánosan használt eszközök (Hill et al. 2018, 2019, Ide & Oguma 2010).

Ultrahangdetektorok segítségével feltárták, hogy a holtfa mennyisége és az élőhelyek természetessége segíti a denevérek jelenlétét az erdőkben. Ezek a fontos rovarevő fajok nagy mértékben fogyasztják a lombfogyasztókat, így fenntartva az ökológiai egyensúlyt (Dobrosi 2017).

A hangdetektorok által rögzített hangok osztályozásában, az előforduló fajok azonosításában ma már több program is segítségünkre lehet. A hangdetektorokkal a klasszikus pontszámláláshoz képest több faj detektálható a hosszabb megfigyelési idő miatt (Toenies & Rich 2021).

Ma már rengeteg olyan webkamera képe érhető el nyíltan, mely fák lombját is mutatja. Ezen kamerák segítségével olyan adatfelvételt végezhetünk, melyhez az eszközöket nem magunk telepítettük. Ez bizonyos mértékig korlátozó tényező, amit nagy számuk és széles térbeli eloszlásuk ellensúlyoz (Graham et al. 2010). Ezen kamerák képének elemzése a fák fenológiai állapotának megállapítására akár automatizálható is (Bradley et al. 2010). A Mátrában, a Névtelen-bércen található ERTI Intenzív Monitoring területen szintén webkamerát használnak a fenológiai vizsgálatokra (Manninger 2016).

## ÖSSZEFOGLALÁS

Mint látható, a lombkorona kutatás eszközei nagyon széleskörűek, azonban ezek zöme eredetileg más célt szolgált. Csupán két olyan eszköz van, amit kifejezetten lombkorona kutatás miatt fejlesztettek ki, ez a lombkorona tutaj és a lombkorona tanösvény. Ez a kihívásokkal teli kutatási terület, folyamatosan új és új technikákat emel be a tárházába (pl. drónok, DNS alapú technikák), mely elősegíti a dinamikus fejlődését.

Az erdészeti gyakorlatban azok a lombkorona kutatások alkalmazhatóak elsősorban, melyek valamely káreseményt mérnek fel, legyen annak az eredete biotikus vagy abiotikus. Ezeket egészítik ki azok, amik ezen káresemények megelőzését vagy kezelését segítik elő. Az elsőket főleg a távérzékelés különböző eszközei (műholdak, repülő, drónok) teszik lehetővé, míg az utóbbiakhoz főleg az ökológiai folyamatok megértését segítők járulnak hozzá.

Műholdas felvételek segítségével nagy kiterjedésű abiotikus és biotikus káresemények monitorozhatóak (Didham & Fagan 2004, Somogyi et al. 2018). Ha összevetjük a károsult területeket a nem károsultakkal a kárterületen belül találhatunk olyan mintázatokat (fafaj összetétel, koreloszlás, kitettség stb.) melyek segíthetik az erdőtervezést, hogy a jövőben az ilyen jellegű károk korlátozhatóak legyenek.

A megfelelő módszer kiválasztása gyakran nehézségekbe ütközik. Sokszor több módszer együttes eredményéből kaphatunk gyakorlatban használható tudást. Például függőnyhálók segítségével megismerhetjük az egyes madárfajok vertikális mozgási területét (Tattoni & LaBarbera 2022), míg ágvágókkal, löfegyverekkel, hogy mely magasságban legintenzívebb a lombrágás (Lowman 1985). Ebből a két információból már tudhatjuk, hogy mely madárfajokat szükséges segítenünk pl. a fészkelőhelyek számának növelésével ahhoz, hogy a lombfogyasztók számát effektíven tudják szabályozni.

A lombkorona kutatások jövőbeni feladata, hogy funkcionális információkkal egészítse ki az eddig megszerzett tudást. Ezek a kérdések felderítik a populációk közötti kapcsolatrendszereket és így a gyakorlatban jobban hasznosítható eredményeket kapunk.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-II-SOE-146 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. Köszönettel tartozom Csóka Györgynek az építő kritikáért.

## Felhasznált irodalom

- Ambrus A. & Csóka Gy. 1988: A kis téliaraszoló (*Operophtera brumata* L.) rajzásának vizsgálata feromoncsapdával és jelöléssel. Erdészeti Kutatások 80–81: 167–172.
- Ambrus A. & Csóka Gy. 1992: Studien über das Schwärmen und die Dichte-abschätzung des Frostspanners, *Operophtera brumata* L. (Lep., Geometridae) Mit Hilfe von Markierungen und Pheromofallen in Ungarn. Anzeiger für Schädlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz 65(5): 88–92. <https://doi.org/10.1007/BF01905052>.
- Barker M.G. & Booth W.E. 1996: Vertical profiles in a Brunei rain forest: II. Leaf characteristics of *Dryobalanops lanceolata*. Journal of Tropical Forest Science 9(1): 52–66.

- Basset Y., Aberlenc H.P. & Delvare G. 1992: Abundance, diversité et stratification verticale de l'entomofaune d'une forêt tropicale humide Africaine. Rapport de Mission. Cameroun 1991. Opération Canopée (Fondation ELF). Montpellier.
- Bassow S.L. & Bazzaz F.A. 1997: Intra- and inter-specific variation in canopy photosynthesis in a mixed deciduous forest. *Oecologia* 109(4): 507–15. <https://doi.org/10.1007/s004420050111>.
- Billow C., Matson P. & Yoder B. 1994: Seasonal biochemical changes in coniferous forest canopies and their response to fertilization. *Tree Physiology* 14(6): 563–574. <https://doi.org/10.1093/treephys/14.6.563>.
- Bradley E., Roberts D. & Still C. 2010: Design of an image analysis website for phenological and meteorological monitoring. *Environmental Modelling & Software* 25(1): 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.07.006>.
- Delvare G. & Aberlenc H.P. 1989: Des entomologistes sur la canopée. La participation du laboratoire de faunistique et de taxonomie à l'opération radeau des cîmes en Guyane (11 Octobre-8 Novembre 1989). Montpellier.
- Didham R.K. & Fagan L.L. 2004: ECOLOGY – Forest canopies. In: Burley J., Evans J. & Youngquist J.A. (eds.): *Encyclopedia of forest sciences*. Elsevier, 68–80.
- Dobrosi D. 2017: A holtfa és egyéb erdőökológiai tényezők jelentősége a denevérek számára. *Erdészettudományi Közlemények* 7(2): 135–154. <https://doi.org/10.17164/EK.2017.010>.
- Eötvös Cs.B., Tóth M., Hirka A., Fürjes-Mikó Á., Gáspár Cs., Paulin M. et al. 2023a: A tölgy-csipkésposzka [*Corythucha arcuata* (Say, 1832)] rövid távú terjedését befolyásoló tényezők tölgyeseinkben. *Erdészettudományi Közlemények* 13(2): 131–44. <https://doi.org/10.17164/EK.2023.08>.
- Eötvös Cs.B., Fürjes-Mikó Á., Paulin M., Gáspár Cs., Kárpáti M., Hirka A. et al. 2023b: Enhanced natural regeneration potential of sessile oak in Northern Hungary: role of artificially increased density of insectivorous birds. *Forests* 14(8): 1548. <https://doi.org/10.3390/f14081548>.
- Fawcett D., Bennie J. & Anderson K. 2021: Monitoring spring phenology of individual tree crowns using drone-acquired NDVI data. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 7(2): 227–244. <https://doi.org/10.1002/rse2.184>.
- Floren A. & Karus M. 2006: Sawflies (Hymenoptera: Symphyta) from temperate primary forests and forest plantations of East-Poland collected by insecticidal knockdown fogging. In: Blank S.M., Schmidt S. & Taeger A. (eds.): *Recent sawfly research: Synthesis and prospects*. Keltorn, Polland: Goecke & Evers, 143–156.
- Futó J. 1964: Szélesség mérések a Bálványon. *Acta Academiae Paedagogicae Agriensis. Nova series* 3: 325–334.
- Graham E.A., Riordan E.C., Yuen E.M., Estrin D. & Rundel P.W. 2010: Public internet-connected cameras used as a crosscontinental ground-based plant phenology monitoring system. *Global Change Biology* 16(11): 3014–3023. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02164.x>.
- Herms D.A., Nielsen D.G. & Sydnor D.T. 1990: Comparison of two methods for sampling arboreal insect populations. *Journal of Economic Entomology* 83(3): 869–874. <https://doi.org/10.1093/jee/83.3.869>.
- Hill A.P., Prince P., Covarrubias E.P., Doncaster C.P., Snaddon J.L. & Rogers A. 2018: AudioMoth: evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Methods in Ecology and Evolution* 9(5): 1199–1211. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12955>.
- Hill, A.P., Prince P., Snaddon J.L., Doncaster C.P. & Rogers A. 2019: AudioMoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *HardwareX* 6: e00073. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00073>.
- Hirka A. 2003: Vizsgálatok a magyarországi tölgyek karpófág rovaraival. *Nyugat-Magyarországi Egyetem*, 143.
- Ide R. & Oguma H. 2010: Use of digital cameras for phenological observations. *Ecological Informatics* 5(5): 339–347. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.07.002>.
- Imrei Z., Lohonyai Zs., Muskovits J., Matula J., Vuts J., Fail J. et al. 2020. Developing a non-sticky trap design for monitoring jewel beetles. *Journal of Applied Entomology* 144(3): 224–231. <https://doi.org/10.1111/jen.12727>.
- Janik G. 2021: A magyarországi bükkösök hosszú távú egészségi állapot trendjei. *Soproni Egyetem, Sopron*, 144.
- Johnson L.F., Hlavka C.A. & Peterson D.L. 1994: Multivariate analysis of AVIRIS data for canopy biochemical estimation along the Oregon transect. *Remote Sensing of Environment* 47(2): 216–230. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90157-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90157-0).
- Jonas T., Webster C., Mazzotti G. & Malle J. 2020: HPEval: a canopy shortwave radiation transmission model using high-resolution hemispherical images. *Agricultural and Forest Meteorology* 284: 107903. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107903>.



- Kardos L. & Kardos D. 2024: 10 Lombkorona tanösvény és sétány Magyarországon-térkép, nyitvatartás, árak ... <https://Trekhunt.Com/Hu/Article/Lombkorona-Tanosveny-Magyarország-Terkep-Nyitvatartas-Arak/>.
- Kays R., Sheppard J., Mclean K., Welch C., Paunescu C., Wang V. et al. 2019: Hot monkey, cold reality: surveying rainforest canopy mammals using drone-mounted thermal infrared sensors. *International Journal of Remote Sensing* 40(2): 407–419. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1523580>.
- Kellner J.R., Armston J., Birrer M., Cushman K.C., Duncanson L., Eck C. et al. 2019: New opportunities for forest remote sensing through ultra-high-density drone lidar. *Surveys in Geophysics* 40(4): 959–977. <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09529-9>.
- Kern A., Marjanović H., Csóka Gy., Mórincz N., Pernek M., Hirka A. et al. 2021: Detecting the oak lace bug infestation in oak forests using MODIS and meteorological data. *Agricultural and Forest Meteorology* 306: 108436. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108436>.
- Kirstová M., Pyszkó P., Šipoš J., Drozd P. & Kočárek P. 2017: Vertical distribution of earwigs (Dermaptera: Forficulidae) in a temperate lowland forest, based on sampling with a mobile aerial lift platform. *Entomological Science* 20(1): 57–64. <https://doi.org/10.1111/ens.12229>.
- Koltay A. 2006: Az erdők egészségi állapotának változásai az erdővédelmi monitoring rendszerek adatai alapján. *Tájékológiai Lapok* 4(2): 327–337. <https://doi.org/10.56617/tl.4470>.
- Leroy, B. M.L., Seibold S., Morinière J., Bozicevic V., Jaworek J., Roth N. et al. 2022: Metabarcoding of canopy arthropods reveals negative impacts of forestry insecticides on community structure across multiple taxa. *Journal of Applied Ecology* 59(4): 997–1012. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14110>.
- Lowman M.D. 1985: Temporal and spatial variability in insect grazing of the canopies of five Australian rainforest tree species. *Australian Journal of Ecology* 10(1): 7–24. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1985.tb00859.x>.
- Lowman M.D. 2009: Canopy research in the twenty-first century: a review of arboreal ecology. *Tropical Ecology* 50(1): 125–36.
- Lowman M.D. 2009: Canopy walkways for conservation: a tropical biologist's panacea or fuzzy metrics to justify ecotourism. *Biotropica* 41(5): 545–548. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00562.x>.
- Lowman M.D. 2021: Life in the treetops—an overview of forest canopy science and its future directions. *Plants, People, Planet* 3(1): 16–21. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10125>.
- Lowman M.D. & Wittman P.K. 1996: Forest canopies: methods, hypotheses, and future directions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27(1): 55–81. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.27.1.55>.
- Maguire D.Y., Robert K., Brochu K., Larrivée M., Buddle C.M. & Wheeler T.A. 2014: Vertical stratification of beetles (Coleoptera) and flies (Diptera) in temperate forest canopies. *Environmental Entomology* 43(1): 9–17. <https://doi.org/10.1603/EN13056>.
- Manninger M. 2016: Intenzív monitoring. <http://Klima.Erti.Hu/Home/Intenziv-Monitoring/>.
- Mátyás Cs. & Ujváriné Jármay É. 2016: Az „évszázad kísérlete” egy csonkán maradt tudományos életpálya tanúsága. *Erdészeti Lapok CLI*(12): 423–425.
- Maurya N.K., Tripathi A.K., Chauhan A., Pandey P.C. & Lamine S. 2022: Recent advancement and role of drones in forest monitoring: Research and practices. In: Arellano P. & Pandey P.C. (eds.): *Advances in remote sensing for forest monitoring*. Wiley, 223–254.
- Nakamura M., Muller O., Tayanagi S., Nakaji T. & Hiura T. 2010: Experimental branch warming alters tall tree leaf phenology and acorn production. *Agricultural and Forest Meteorology* 150(7–8): 1026–1029. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.04.001>.
- Nakamura M., Nakaji T., Muller O. & Hiura T. 2015: Different initial responses of the canopy herbivory rate in mature oak trees to experimental soil and branch warming in a soil-freezing area. *Oikos* 124(8): 1071–1077. <https://doi.org/10.1111/oik.01940>.
- NFK 2021: Erdészeti mérő- és megfigyelő rendszer. [https://Nfk.Gov.Hu/Erdeszeti\\_Mero\\_es\\_Megfigyelo\\_Rendszer\\_EMMRE\\_news\\_537](https://Nfk.Gov.Hu/Erdeszeti_Mero_es_Megfigyelo_Rendszer_EMMRE_news_537).
- Roger F., Ghanavi H.R., Danielsson N., Wahlberg N., Löndahl J., Pettersson L.B. et al. 2022: Airborne environmental DNA metabarcoding for the monitoring of terrestrial insects—a proof of concept from the field. *Environmental DNA* 4(4): 790–807. <https://doi.org/10.1002/edn3.290>.

- Sallé A., Cours J., Souchu E.L., Lopez-Vaamonde C., Pincebourde S. & Bouget C. 2021: Climate change alters temperate forest canopies and indirectly reshapes arthropod communities. *Frontiers in Forests and Global Change* 4: 710854. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.710854>.
- Sárosspataki M. & Markó V. 1995: Flight activity of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) at different strata of a forest in relation to migration to hibernation sites. *European Journal of Entomology* 92: 415–419.
- Schowalter T.D. 1995: Canopy invertebrate community response to disturbance and consequences of herbivory in temperate and tropical forests. *Selbyana* 16(1): 41–48.
- Seifert C.L., Lamarre G.P.A., Volf M., Jorge L.R., Miller S.E., Wagner D.L. et al. 2020: Vertical stratification of a temperate forest caterpillar community in Eastern North America. *Oecologia* 192(2): 501–514. <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04584-w>.
- Shutt J.D., Trivedi U.H. & Nicholls J.A. 2021: Faecal metabarcoding reveals pervasive long-distance impacts of garden bird feeding. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 288(1951): 20210480. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0480>.
- Šigut M., Šigutová H., Šipoš J., Pyszko P., Kotásková N. & Drozd P. 2018: Vertical canopy gradient shaping the stratification of leaf-chewer–parasitoid interactions in a temperate forest. *Ecology and Evolution* 8(15): 7297–7311. <https://doi.org/10.1002/ece3.4194>.
- Somogyi Z., Koltay A., Molnár T. & Mórincz N. 2018: Távérzékelésen alapuló erdőállapot monitoring rendszer. *Erdészeti Lapok CLIII(9)*: 277–278.
- Sperisen C., Büchler U. & Mátyás G. 1998: Genetic variation of mitochondrial DNA reveals subdivision of norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). In Karp A., Isaac P.G. & Ingram D.S. (eds.): *Molecular tools for screening biodiversity: plants and animals*. Dordrecht: Springer Netherlands, 413–417.
- Stireman J.O., Cerretti P., Whitmore D., Hardersen S. & Gianelle D. 2012: Composition and stratification of a tachinid (Diptera: Tachinidae) parasitoid community in a European temperate plain forest. *Insect Conservation and Diversity* 5(5): 346–357. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2011.00168.x>.
- Stuller Z. 2009: Erdővédelmi hálózat. In: Kolozs L. (ed.): *Erdővédelmi Mérő- és Megfigyelő Hálózat (EMMRE) 1988–2008*. Budapest: Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Központ Erdészeti Igazgatóság, 12–23.
- Tang L. & Shao G. 2015: Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research* 26(4): 791–797. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0088-y>.
- Tattoni D.J. & LaBarbera K. 2022: Capture height biases for birds in mist-nets vary by taxon, season, and foraging guild in Northern California. *Journal of Field Ornithology* 93(1): art1. <https://doi.org/10.5751/JFO-00021-930101>.
- Tinbergen J.M. & Dietz M.W. 1994: Parental energy expenditure during brood rearing in the great tit (*Parus major*) in relation to body mass, temperature, food availability and clutch size. *Functional Ecology* 8(5): 563. <https://doi.org/10.2307/2389916>.
- Toenies M. & Rich L. 2021: Advancing bird survey efforts through novel recorder technology and automated species identification. *California Fish and Wildlife Journal* 107(2): 56–70. <https://doi.org/10.51492/cfwj.107.5>.
- Ulyshen M.D. 2011: Arthropod vertical stratification in temperate deciduous forests: implications for conservation-oriented management. *Forest Ecology and Management* 261(9): 1479–1489. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.01.033>.
- Wang J., D'Orangeville L. & Taylor A.R. 2023: Tree species growth response to climate warming varies by forest canopy position in boreal and temperate forests. *Global Change Biology* 29(18): 5397–5414. <https://doi.org/10.1111/gcb.16853>.
- Witt R.R., Beranek C.T., Howell L.G., Ryan S.A., Clulow J., Jordan N.R. et al. 2020: Real-time drone derived thermal imagery outperforms traditional survey methods for an arboreal forest mammal. *PLOS ONE* 15(11): e0242204. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242204>.
- Yumoto T. & Nakashizuka T. 2005: The Canopy Biology Program in Sarawak: scope, methods, and merit. In: Roubik D.W., Sakai S. & Karim A.A.H. (eds.): *Pollination ecology and the rain forest*. New York: Springer-Verlag, 13–21.

Érkezett: 2024. július 22.

Közlésre elfogadva: 2025. január 31.

## AZ ACTA SILVATICA & LIGNARIA HUNGARICA 20. KÖTETÉBEN (1–2. SZÁM) MEGJELENT TANULMÁNYOK CÍMEI ÉS KIVONATAI

Az Erdészettudományi Közlemények és az Acta Silvatica & Lignaria Hungaria (ASLH) kölcsönösen közlik a másik folyóirat legutóbbi kötetében megjelent tanulmányok címeit és kivonatait. Ehelyütt az ASLH 20. kötetének (1–2. szám) (2024) tartalmát mutatjuk be a megjelent írások címével és absztraktjával. A közlemények teljes terjedelmükben elérhetők és letölthetők a <http://aslh.nyme.hu> honlapról.

### 20. kötet 1. szám

9–22. oldal: **Fenntartható erdőstratégiák, mint természetes éghajlati megoldások degradált tűlevelű erdőkben** – PALETTO Alessandro, CANTIANI Paolo, LAGOMARSINO Alessandra és DE MEO Isabella

A jelen kutatás két különböző módszerrel menedzselte közép-olaszországi (Monte Morello) erdőt vizsgált. Elemeztük az erdőművelés és erdőgazdálkodási módszerek hatását a szénmegkötésre, a szénkészletre, valamint a teljes széntartalékra (föld feletti és föld alatti biomassa, holtfa, avar és talaj). Ezen túlmenően a tanulmány a fatermelésre és a rekreációs tevékenységre gyakorolt hatásokat is vizsgálta és összehasonlította. Egy leromlott állapotú tűlevelű erdőben alulról történő ritkítást és szelektív ritkítást alkalmaztunk a szénkötöttség középtávú növelése érdekében. Az eredmények azt mutatták, hogy a két különböző ritkítás után a föld feletti biomassa és a holtfa szénkészlete csökkent ( $-145$  és  $-220$  t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> az alulról történő ritkítás és a szelektív ritkítás után). Ezek az erdőművelési beavatkozások azonban a szénkötöttség növekedéséhez vezettek, négy és kilenc év közötti időszakban visszanyerték az elvesztett szénkészletet, és középtávon pozitív áramlást eredményeztek. Ezenkívül mindkét ritkítás pozitívan befolyásolta a fatermelést és az erdő esztétikai-vizuális megítélését a látogatók számára.

**szénkészlet / szénmegkötés / javított erdőgazdálkodási gyakorlatok / gyérítés / Toszkána régió**  
<https://doi.org/10.37045/aslh-2024-0001>

23–38. oldal: **A fakitermelés mint környezeti kockázat az erdei ökoszisztémára** – HYBSKÁ Hana, OLLEROVÁ Helena, TURCANIOVÁ Eszter, MORDACOVÁ Martina, ZACHAROVÁ Andrea és RÉTFALVI Tamás

Közleményünkben a fakitermelés hatását vizsgáltuk a vízre, a talajra, valamint a fás- és lágyszárú növényzetre a fakitermeléssel érintett (736, 746) és kontroll (400) erdőterületeken. A nempoláros kivonható anyagok (NES) mutatója minden felszíni vízmintában meghaladta a határértéket. A talajminták NES értékei a 736-os erdőterületen 30%-kal, míg a 746-os erdőterületen 60%-kal haladták meg a határértéket. A 400-as erdőterületen a NES tekintetében nem volt határérték túllépés. A fizikai-kémiai paraméterek megnövekedett koncentrációjának oka lehet a szállító és fakitermelő gépekből történő

üzemanyag és kenőanyag szivárgás, a régebbi környezeti terhelésekből visszamaradó szennyezés, valamint a minták humusz tartalma. A NES értékek nem befolyásolták a megfigyelt területeken található fajok számát és fedettségét. Az EAI (az ökotoxicitási indexek alapján számolt Környezeti Baleset Index) megerősítette a fakitermelés erdei környezetre gyakorolt hatásának környezeti kockázatát.

**Nem-poláros kivonható anyagok (NES) / fakitermelés / erdei környezet / környezeti kockázat / ökotoxikológia**

<https://doi.org/10.37045/aslh-2024-0002>

39–51. oldal: **Fajok elérhetőségének értékelése a fűrésztelepek és fapiacok felmérése alapján Szinnár Államban, Szudánban** – GURASHI Nasreldin A., YASIN Emad H. E. és CZIMBER Kornél

A tanulmány a fajok elérhetőségének felmérését irányul Szinnár államban, Szudánban, annak érdekében, hogy azonosítsa az építőanyagként, bútorok készítéséhez és energiatermeléshez használt fajtákat, valamint feltárja a választási szempontokat, melyeket az állandó fa iránti kereslet hajt, az építkezések, bútoripar és energiaforrások területén. A kutatás magában foglalt interjúkat 87 véletlenszerűen kiválasztott válaszadóval három faanyag-kereskedelmi és fűrészüzemi vállalatától (Elsuki, Szinnár és Singa). A felmérések leíró elemzést alkalmaznak SPSS és Excel segítségével. Az eredmények azt mutatják, hogy a korábbi 28 fajból jelenleg nyolccal kereskednek. Az eladási fajták kiválasztási szempontjai közé tartozik a megfelelőség, a tartósság és a piaci kereslet. Az összes fakitermelés körülbelül 47,9%-a tartalékolat erdőkből származik főként fűrészipari felhasználásra, míg a 31,3%-a magán és közösségi kezelt erdőkből jön. A tanulmány rávilágít a fajok elérhetőségének jelentős csökkenésére, a válaszadók 88%-a aggodalmát fejezi ki ezzel a tendenciával kapcsolatban, ami az erőforrás túlkihasználására vezethető vissza. Sürgős megőrzési erőfeszítésekre hív fel. Ez a tanulmány azt javasolja, hogy ültessenek be őshonos, gyorsan növekvő fákat annak érdekében, hogy kielégítsék a régió faigényét.

**fajok elérhetősége / fűrészüzemek dinamikája Szudánban / fatermesztés és piaci igények / erdő megőrzési stratégiák / őshonos fajok / fenntarthatóság**

<https://doi.org/10.37045/aslh-2024-0003>

## 20. kötet 2. szám

55–70. oldal: **Változások a szerkezetben, a fajösszetételben és diverzitásban az Abu Geili Folyómenti erdőrezervátumban (Szinnár Állam, Szudán)** – GURASHI Nasreldin A., YASIN Emad H. E. és CZIMBER Kornél

A tanulmány célja a szudáni Abu Geili folyóparti erdőrezervátum (AGRFR) szerkezetének, összetételének, sokféleségének és védettségi helyzetének felmérése, valamint a jellemzők 2011 és 2021 közötti változásainak értékelése. Harminc mintaterületet (Sugár = 17,84 m) alakítottak ki rendszeresen. A parcellák közötti távolság 50 m, a felmérési vonalak közötti távolság 100 m volt, hogy azonosítani

lehesen, megszámloljuk és megmérjük a mellmagassági átmérőt (DBH) famagasságát minden élő fa esetében, és összehasonlítsuk a 2011-es adatokkal. Az eredmények azt mutatják, hogy 2021-ben 32 fajból és 15 családból 462 fa volt, ami tükrözi a fajok és a családok sokféleségének növekedését 2011-hez képest, amikor 23 faj és 12 család 626 fájáról számoltak be. A Fabaceae család volt a legdominánsabb, 2021-ben tíz, 2011-ben pedig hat faj. Mindkét évben a Miliaceae és a Moraceae három-három fajjal rendelkezett. A négy kiszámított diverzitási indexből három növekvő trendet mutatott, kiemelve a terület gazdag diverzitását és fontosságát a megőrzés és a kezelés szempontjából.

**fafaj diverzitás / Abu Geili erdőrezervátum / biodiverzitás index elemzés / erdei ökoszisztéma kezelés**

<https://doi.org/10.37045/aslh-2024-0004>

71–81. oldal: **Négy, a gyakorlatban használt növényvédő szer hatásának vizsgálata különböző *Beauveria* törzsekre laboratóriumi körülmények között** – HORVÁTH Eszter, LAKATOS Ferenc, GRABENWEGER Giselher és TUBA Katalin

Az erdővédelemben egyre inkább előtérbe kerül a biológiai védekezés. Ennek keretein belül gyakran alkalmaznak entomopatogén gombákat, mint például a *Beauveria bassiana* és a *B. brongniartii*. Sokszor szükséges kombinált módon a károsítók és kórokozók ellen egyaránt védekezni, melynek során különböző hatóanyagok egyidejű kijuttatása elkerülhetetlen. Felvetődik a kérdés, hogy ezen gombafajok és a leggyakrabban velük együttesen használt egyéb növényvédő szerek hatóanyagai milyen hatással vannak egymásra. Különböző *Beauveria* törzsek növényvédőszer-hatóanyagokkal való kölcsönhatását vizsgáltuk laboratóriumi körülmények között. A gyakorlatban használt diazinon, illetve glifozát hatóanyagú rovar- és gyomirtó szerek egyidejű alkalmazása többnyire semleges, vagy egymást erősítő hatást mutatott. A penkonazol vagy kén hatóanyagú gombaölő szerek esetében viszont az azonos területre történő kijuttatás nem célravezető, mert a gomba hatását gátolta mindkét hatóanyag. A gombaölő szerek és a gomba együttes használatát azért kell vizsgálni, mert sok esetben megjelenik a kártevőkkel párhuzamosan gombabetegség is a kezelni kívánt állományban pl. lisztharmatok.

**erdővédelem / biológiai védekezés / entomopatogén / *Beauveria bassiana* / *Beauveria brongniartii***

<https://doi.org/10.37045/aslh-2024-0005>

83–94. oldal: **A kioldható összecukor tartalom radiális és vertikális megoszlása a bükk (*Fagus sylvatica* L.) törzsben: összefüggések az álgesztesedés folyamataival** – VISI-RAJCZI Eszter, HOFMANN Tamás és ALBERT Levente

Az idős bükkállományok nagy részében álgeszt képződik, ami a faanyag kereskedelmi forgalmi értékét jelentősen csökkenti. Az álgesztesedés kémiai és biokémiai folyamatainak jelentős részét feltárták, de az eddigi kutatások csak a törzs egy adott szintjére korlátozódtak (általában a mellmagassági átmérő). Jelen munkánkban vizsgáltuk egy álgesztes és egy álgesztmentes bükk (*Fagus sylvatica* L.) kioldható összecukor tartalmának radiális és vertikális eloszlását. Mértük az álgesztes törzs 17 és

az álgesztmentes törzs 12 magassági szintjén a koncentrációk sugárirányú eloszlását. Megállapítottuk, hogy a kioldható össz cukrok koncentrációja, valamint radiális és vertikális megoszlása mind az álgesztes, mind az álgesztmentes törzsben magasságfüggő. A koncentrációk sugár irányú változásai szignifikánsan különböznek az álgesztes és az álgesztmentes bükken. Az álgesztesedésnek nem kötelező feltétele a kioldható szénhidrátok koncentrációjának megemelkedése a tranzicionális zónában, de a koncentráció csökkenés a tranzicionális zóna után minden esetben bekövetkezik. Az intenzív cukor metabolizmus egyrészt az álgesztesedés folyamatait fedezheti, másrészt hozzájárulhat a polifenol vegyületek *in situ* szintéziséhez az álgeszt határon.

**bükk / álgesztesedés / kioldható össz cukor tartalom eloszlás**

<https://doi.org/10.37045/aslh-2024-0006>

95–108. oldal: **Új akácklónok növényegészségi vizsgálatának eredménye** – ÁBRI Tamás, KESERŰ Zsolt és KOLTAY András

Az akác (*Robinia pseudoacacia* L.) egyike a legfontosabb fafajoknak Európában, különösen Magyarországon. Hazánkban az 1960-as években kutatási projekt indult a faj faj törzsmínőségének javítására, fatermésének fokozására. Napjainkban 5 újonnan szelektált akácklón (Laposi, Napkori, Hajdúsági, Farkasszigeti, Püspökladányi) vizsgálunk 3 klónkísérletben (Debrecen, Napkor és Nyírbogdány). A növényegészségi vizsgálatok kiemelt fontosságúak a fajta elismerési eljárás során. 2022 szeptemberében (Napkor) és 2023 augusztusában (Nyírbogdány, Debrecen) klónonként 30 fát vizsgáltunk minden kísérleti területen. Az állományvizsgálat során egyedenként megbecsültük az átlagos lombvesztést, valamint a koronában (lombozaton), ágakon és a törzsön előforduló károsodások mértékét és a kiváltó okokat. Debrecenben, ezzel egyidőben, NDVI mérést is végeztünk Trimble Greenseeker kézi műszer segítségével. Összegezve az eredményeket, megállapítható, hogy a vizsgált akácklónok jó szárazságtűrő képességgel rendelkeznek, ugyanakkor az NDVI értékek tekintetében szignifikáns különbség mutatkozott: a Laposi és Farkasszigeti (0,76 és 0,77) esetében mértük a legnagyobb és a Püspökladányinál a legkisebb NDVI értékeket (0,74). Továbbá az is bizonyítást nyert, hogy a Napkori klón a *Phomopsis petiolorum* gombás fertőzésével szemben fogékonyabb. A rovarkárok aránya elhanyagolható volt, még a közönséges akácosokban igen gyakran előforduló aknázómolyok károsításának mértéke is igen alacsony volt a vizsgálati években.

**növényvédelem / akácnevelés / stressz tolerancia / NDVI**

<https://doi.org/10.37045/aslh-2024-0007>



# TARTALOMJEGYZÉK

(folytatás a hátsó borítóról)

## 14. évfolyam 2. szám

- 115 *Jagodics Anikó és Führer Ernő*  
**Az avar és a humusztakaró vizsgálata zalai bükkösökben összefüggésben az időjárással**
- 131 *Benke Attila, Toldi Valter, Süle Tamás és Bereczki Katalin*  
**A tápanyag-utánpótlás hatása az akác (*Robinia pseudoacacia* L.) levélben történő elemakkumulációjára: egy Tápiószelén létesült kísérlet eredményei**
- 145 *Cseke Klára, Borovics Attila, Jagodics Anikó, Lados Botond Boldizsár, Nagy László, Benke Attila és Kollár Tamás*  
**A gyéritések lehetséges hatása bükk állományok genetikai szerkezetére – három hosszúlejárátú, erdőnevelési sor genetikai és fatermési szempontú értékelése**
- 165 *Szabó András, Gribovszki Zoltán, Szolgay Ján, Kalicz Péter és Bolla Bence*  
**Talajvíz és a gyökérszóna kapcsolatának vizsgálata Püspökladány-Farkasszigeti mintaterületen a 2020–2023 közötti időszakban**
- 177 *Horváth Bálint, Nagy-Khella Melinda, Farkas Máté, Németh Tamás Márton, Bereczki Katalin, Bolla Bence, Jeczó Virág, Kiss Lászlóné, Toldi Valter, Fonyó Tamás és Illés Gábor*  
**A Remetékert Erdőrezervátum (ER-37) faállományszerkezet, fekvő holtfa és termőhely vizsgálatának eredményei**
- 195 *Eötvös Csaba Béla*  
**A lombkorona kutatások jelentősége és főbb módszerei**
- 213 **Az Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 20. évfolyamában (1–2. szám) megjelent tanulmányok címei és kivonatai**

*A kéziratok formai követelményeire vonatkozó részletes útmutató  
a [www.erdtudkoz.hu](http://www.erdtudkoz.hu) honlapról letölthető.*

*A kéziratokat kizárólag elektronikus formában  
a [szerkesztoseg@erdtudkoz.hu](mailto:szerkesztoseg@erdtudkoz.hu) e-mail címre kérjük.*

# TARTALOMJEGYZÉK

## 14. évfolyam 1. szám

- 5     Ábri Tamás, Keserű Zsolt, Sóvágó Emese és Rédei Károly  
      **A simafenyő (*Pinus strobus* L.) termesztésének tapasztalatai a Tiszántúl homoki  
      termőhelyein**
- 15    Borovics Attila, Király Éva és Kottek Péter  
      **A hazai erdészeti és faipari szektor szénmérlegének előrejelzése az erdőipari szén  
      modell felhasználásával**
- 33    Fábián Attila, Lakatos Ferenc, Elekné Fodor Veronika, Őrsi Árpád, Náhlik András  
      és Polgár András  
      **A Soproni Egyetem alkalmazott fenntarthatósági modellje**
- 47    Illés Gábor és Schiberna Endre  
      **Erdőtelepítési potenciál becslése termőhelyi adatbázisok alapján**
- 63    Király Éva, Kis-Kovács Gábor, Börzsök Zoltán, Kocsis Zoltán, Kottek Péter, Merti Tamás,  
      Németh Gábor, Polgár András és Borovics Attila  
      **A hazai faiparhoz kapcsolódó klímamitigációs intézkedések hatásbecslése**
- 87    Kollár Tamás  
      **Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) állományok fatermési függvénye  
      és táblája az ERTI tartamkísérleti hálózatának adatbázisa alapján**

A 2. szám tartalomjegyzéke a hátsó borító belső oldalán található.

English table of contents can be found on page 4.

[www.erdtudkoz.hu](http://www.erdtudkoz.hu)

