



# Erdészettudományi Közlemények

12. évfolyam 1-2. szám 2022

A Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézetének  
és Erdőmérnöki Karának tudományos lapja





### Virágporos ötletek

A közönséges boróka kéttlaki cserje. A hímivarú példányok virágpora a levegőben szállva jut el a nővirágokhoz. A virágpor megtapadását beporzási cseppek segítik, melyeket a nővirágok választanak ki. A tűlevelek hónaljában, tavasszal találhatjuk meg az apró virágokat, csúcsukon csillogó cseppekkel.

**Fotó és szöveg: Selyem József (erdőmérnök, Darány)**



# Erdészettudományi Közlemények

12. évfolyam 1–2. szám



2022

**Főszerkesztő:**

*Csóka György (SOE ERTI)*

**Helyettes főszerkesztő:**

*Lakatos Ferenc (SOE EMK)*

**Technikai szerkesztők:**

*Király Gergely (SOE EMK), Hirka Anikó (SOE ERTI), Molnár Miklós*

**A szerkesztőbizottság társelnökei:**

*Borovics Attila (SOE ERTI) és Náhlik András (SOE EMK)*

**A szerkesztőbizottság tagjai:**

*Albert Levente (SOE EMK)*

*Duska József (MEGOSZ)*

*Führer Emő (SOE ERTI)*

*Gribovszki Zoltán (SOE EMK)*

*Kolozs László (NFK EFO)*

*Kovács Gábor (SOE EMK)*

*Szabados Ildikó (AM)*

*Szepesi András (AM)*

**Kiadó:**

Soproni Egyetem Kiadó

**Felelős kiadó:**

*Prof. Dr. Fábíán Attila, a Soproni Egyetem rektora*

**Címlapterv:**

Griffes Grafikai Stúdió

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

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

**Címlapkép:**

A „valódi” kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* s. str.) fiatal makkjai (© Csóka György)

**ISSN 2062-6711**

**Nyomdai munkák:**



**INFORM**

Kiadó & Nyomda

1149 Budapest, Angol u. 34.  
[www.informkiado.hu](http://www.informkiado.hu)

Felelős vezető: Bolyki István

2023/11



## TARTALOMJEGYZÉK

### 12. évfolyam 1. szám

*Kollár Tamás*

**Bükk (*Fagus sylvatica*) állományok fatermési függvénye és táblája az ERTI tartamkísérleti hálózatának adatbázisa alapján** 5–29

*Ábri Tamás, Keserű Zsolt és Rédei Károly*

**A 'Nyírségi' akác (*Robinia pseudoacacia* 'Nyírségi') növekedési viszonyai** 31–42

*Szmolka Péter és Frank Norbert*

**Szabad víz megjelenése a talajban különböző faállományok alatt a Szent Anna-tó kráterének belső lejtőin** 43–55

*Kocsis Zoltán, Németh Gábor, Börcsök Zoltán, Polgár András, Király Éva, Kóczán Zsófia és Borovics Attila*

**A faipari folyamatok szénlábnyom-elemzéséhez kapcsolódó logisztikai és energiafelhasználási konverziós faktorok megadása** 57–73

### 12. évfolyam 2. szám

*Benke Attila, Köbölkuti Zoltán Attila, Cseke Klára, Borovics Attila és Tóth Endre György*

**Szárazságtűrésben szerepet játszó SNP-k azonosítása kocsánytalan tölgy populációkban: Alaputatási eredmények a fenntartható tölgygazdálkodásért** 77–90

*Illés Gábor és Móricz Norbert*

**Hazai fafajok klímaanalóg területeinek vizsgálata a klímaváltozás tükrében** 91–112

*Báder Mátyas és Komán Huba*

**Különböző fafajok juvenilis korhatárának meghatározása matematikai modell segítségével** 113–119

*Korda Márton, Ripka Géza, Hirka Anikó és Csóka György*

**Az *Aceria fraxiniflora* (felt) (Acari: eriophyoidea) gyors terjeszkedése és jelenleg ismert előfordulásai Magyarországon** 121–128

## CONTENTS

### Vol. 12 Nr. 1

*Tamás Kollár*

- Forest Yield function and table of beech (*Fagus sylvatica*) stands by the FRI's long duration research network database** 5–29

*Tamás Ábri, Zsolt Keserű and Károly Rédei*

- Growth conditions of 'Nyírségi' black locust (*Robinia pseudoacacia* 'Nyírségi')** 31–42

*Péter Szmolka and Norbert Frank*

- Occurrences of free water in the soil under different forest stands on the slopes of the lake Sfânta Ana crater** 43–55

*Kocsis Zoltán, Németh Gábor, Börcsök Zoltán, Polgár András, Király Éva, Kóczán Zsófia and Borovics Attila*

- Specifying logistics and energy consumption conversion factors related to the carbon footprint analysis of the wood industry processes** 57–73

### Vol. 12 Nr. 2

*Attila Benke, Zoltán Attila Köbölkuti, Klára Cseke, Attila Borovics and Endre György Tóth*

- Identification of SNP markers responsible for drought tolerance in sessile oak populations: Results of basic research for sustainable oak management** 77–90

*Gábor Illés and Norbert Mórícz*

- Investigating the climate analogue area of domestic tree species in the light of climate change** 91–112

*Mátyás Báder and Huba Komán*

- Determining the juvenile age of different wood species using a mathematical model** 113–119

*Márton Korda, Géza Ripka, Anikó Hirka and György Csóka*

- Rapid spread and presently known distribution of *Aceria fraxiniflora* (felt) (Acari: eriophyoidea) in Hungary** 121–128



# BÜKK (*FAGUS SYLVATICA*) ÁLLOMÁNYOK FATERMÉSI FÜGGVÉNYE ÉS TÁBLÁJA AZ ERTI TARTAMKÍSÉRLETI HÁLÓZATÁNAK ADATBÁZISA ALAPJÁN

**Kollár Tamás**

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

## Kivonat

Bükk fatermési táblát a magyarországi tartamkísérleti hálózat adatai alapján 1968-ban, majd pedig 1983-ban publikáltak. 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 bükk fatermésének pontosabb becslése érdekében. 337 db parcella 1542 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 bükk elegyarányt, záródást és sűrűséget feltételezve készültek.

*Kulcsszavak:* bükk, fatermési tábla, növedék, tartamkísérleti hálózat, adatbázis

## FOREST YIELD FUNCTION AND TABLE OF BEECH (*FAGUS SYLVATICA*) STANDS BY THE FRI'S LONG DURATION RESEARCH NETWORK DATABASE

### Abstract

Yield table of beech by the Forest Research Institute's long duration research network was publicised in 1968, and later in 1983. 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 beech yield. 1542 digitalised records from 337 parcels were processed, from those 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 for 100% beech mixture ratio, closure and density.

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

## BEVEZETÉS

A bükk fafaj 113 ezer ha területet borít Magyarországon, élőfakészletét 41 millió m<sup>3</sup>-re becsli az Országos Erdőállomány adattár (NFK-EF 2020). Éves növedéke 0,9 millió m<sup>3</sup>, éves fahasználata 0,7 millió m<sup>3</sup> a jelenlegi becslések szerint. Területaránya az országos erdőterület 6%-a, míg fatömege ennél jelentősebb, 10%-ot teszi ki. Fája értékes, gazdasági jelentősége kiemelkedő, azonban védelmi és közjóléti hasznosítása is jelentős. Fatermésének vizsgálatától nem tekinthetünk el.

A bükk fatermési vizsgálatával Magyarországon Greiner foglalkozott először. Tábláit 1886-ban adta közre, azonban alapadatai a mai Magyarországon kívülről származtak, helyi, tehát nem is országos céllal készültek, azonban jobb híján az egész országban sokáig használták. Fekete Zoltán 1958-ban szerkesztett országos bükk fatermési táblát, melyet Mendlik és Birck (1968) újított meg a tartamkísérletek adataira alapozva. Bükk fatermési táblákat Magyarország bükköseire ezután utólag 1983-ban publikált Mendlik Géza (Mendlik 1983).

A fatermési táblákat a tartamkísérletek eredményei alapján időszakosan felül kell vizsgálni (Somogyi 1989). A bükkről ismert kutatásokat Bondor összegezte 1986-ban (Bondor 1986). Az óta 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 stb.) bemenő adata lehet egy könnyen használható fatermési függvény.

## AZ ADATGYŰJTÉS HELYE, MÓDSZERE

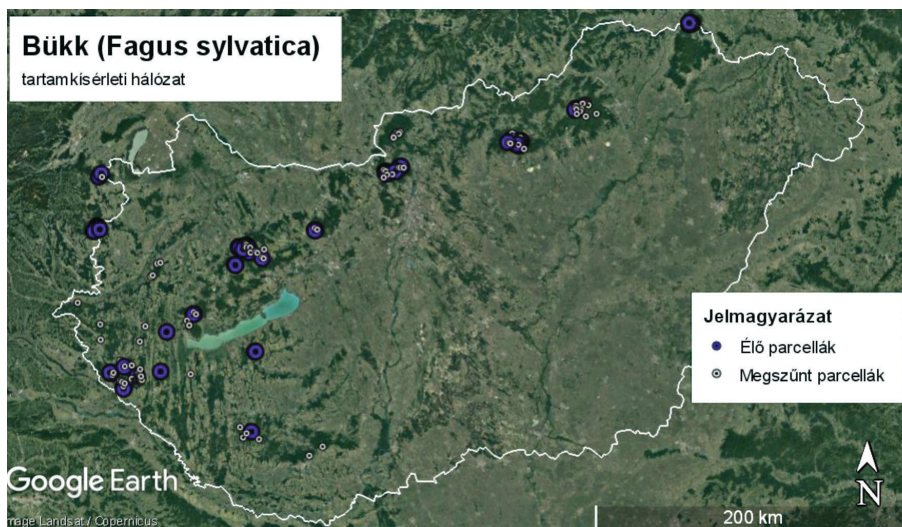
### A SOE – ERTI hosszúlejárátú fatermési és erdőnevelési tartamkísérleti hálózata

A fatermési táblák szerkesztésének kiinduló adatait a Soproni Egyetem – Erdészeti Tudományos Intézetének (SOE – ERTI) hosszúlejárátú fatermési és erdőnevelési tartamkísérleti hálózatának (Birck et al. 1962, Béky et al. 1993.) bükk főfafajú parcellái adják (1. ábra), melyek az 1960-as évektől állnak rendelkezésünkre. A kísérleti parcellák kitérésének, 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 bükkös főfafajú parcelláinak adatait használtuk fel a 2022-es évig. Ezek a parcellák felölelik a magyarországi hegy- és dombvidékek változatos termőhelyi és koreloszlású bükköseit a legjobb fatermőképességtől a leggyengébb állományokig. Ez 337 db parcella 1542 digitalizált jegyzőkönyv jelent, mely a regiszterekben szereplő bükk főfafajú adattömeg 79%-a. Jelenleg 103 bükkös főfafajú parcella tekinthető még élő kísérletnek. Ez átlagosan 6 db visszatérési felvételt jelent, azonban nagy szórással. Egyes parcellákban csak egy felvétel készült, míg maximális esetben 13 felvétel is készült közel 6 évtized alatt. Az átlagos visszatérési idő 7 év. A regiszterekben található egyéb parcellák és jegyzőkönyvek nem voltak feldolgozhatóak különböző adathiányok miatt (pl. terület, kor, magasság hiánya, eltérő felvételi módszertan stb.), vagy az eredeti jegyzőkönyvek nem voltak fellelhetőek. Sajnálatos módon a Fekete Zoltán által kitéréselt parcellák 1950-es évekbeli jegyzőköny-



vei elvesztek, a regiszterekben szereplő faállomány szerkezeti adatokat pedig nem tudtuk egyértelműen felhasználni, így a kiinduló adatok e parcellák esetében csak az 1960-as évek eleji második újrafelvételésekkel indulhattak. A parcellák között találhatóak fatermési célú parcellák, de szintén felhasználásra kerültek az erdőnevelési sorok parcelláinak adatai is, mivel fiatal 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 bükk (*Fagus sylvatica*) főfafajú parcelláinak elhelyezkedése

Figure 1: The Hungarian long duration research network's parcels for beech (*Fagus sylvatica*) main species

## Az adatbázis rendszerezése, előfeldolgoása

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, lábön száradt vagy kidőlt), száradékként nyilvántartott valós **mellékállomány**, mely a kitermelt faanyagot jellemzi. A valós mellékállomány fatérfogatát 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 egygyetlenek. Az állományok töszámát, körlapját és fatérfogatát 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 bükk főfafajú adatokat használtuk fel a fatermési tábla szerkesztésére (Kollár & Borovics 2021):

A parcella Kora (év), Záródásiánya (%) Körlap szerinti elegyaránya (%).

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

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 ( $I_t$ ) ( $m^3/ha/év$ ) felvételi időszakonként lett kiszámítva a már 100%-os elegyarányra, záródásra és sűrűsége 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 oktató faterméstan tantárgy keretein belül kiadott oktatási segédlet szolgált (Veperdi 2005). A tábla adatainak számításához Microsoft Excel 2010 (Microsoft 2010) és Statistica 10 (StatSoft 2011) programokat használtunk. Az élőállományt és a mellékállományt azonos módszerrel számoltuk ki, két elkülönülő állományrészként vizsgálva. A fatermési tábla szerkesztésekor törekedtünk a korábban publikált táblák szerkezetének megőrzésére, azonban ez nem teljesen egyezik. A korábbi gyérintetlen 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 gyérintési 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 sáv szélességű fatermési osztályra bontva tartalmazza a szokásos állományszerkezeti adatokat 5 éves korszakonkénti bontásban.

### Az élőállomány faállomány-szerkezeti jellemzőinek kiszámítása

Az élőállomány átlagmagasságának vezérgörbét aszimptotikus függvénnyel számoltuk:

$$H_{g\acute{e} \text{ aszimpt}} = 39,40187 \cdot (1 - e^{-0,02106 \cdot Kor})^{1,60702}$$

Az élőállomány körlappal súlyozott átlagmagassága:

$$H_{g\acute{e}} = H_{g\acute{e} \text{ ref}} \cdot 1,39069 \cdot (1 - e^{-0,02106 \cdot Kor})^{1,60702}$$



Az élőállomány referencia magassága ( $H_{g\acute{e} \text{ ref}}$ ) 80 éves korban 3 méteres osztásközökkel lett felosztva: I. fto.: 34 m, II. fto.: 31 m, III. fto.: 28 m, IV. fto.: 25 m, V. fto.: 22 m, VI. fto.: 19 m.

Az élőállomány felsőmagassága:

$$H_{f\acute{e}} = -0,0013 \cdot H_{g\acute{e}}^2 + 1,0172 \cdot H_{g\acute{e}} + 2,14$$

Az élőállomány körlappal súlyozott átlagos mellmagassági átmérője:

$$D_{g\acute{e}} = (0,56482 + 0,00616 \cdot Kor) \cdot H_{g\acute{e}}$$

Az élőállomány törzsszáma:

$$N_{\acute{e}} = 10^{5,02773 - 1,22854 \cdot \log D_{g\acute{e}} - 0,28944 \cdot \log D_{g\acute{e}}^2 + 0,04416 \cdot \log D_{g\acute{e}}^3}$$

Az élőállomány körlapösszege:

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

Az élőállomány fatérfogata:

$$V_{\acute{e}} = (0,57265 \cdot H_{g\acute{e}}) \cdot G_{\acute{e}}$$

## A mellékállomány faállomány-szerkezeti jellemzőinek kiszámítása

A mellékállomány átlagmagasságának vezérgörbéjét aszimptotikus függvénnyel számoltuk:

$$H_{gm \text{ aszmp}} = 45,31808 \cdot (1 - e^{-0,01297 \cdot Kor})^{1,52653}$$

A mellékállomány körlappal súlyozott átlagmagassága:

$$H_{gm} = H_{gm \text{ ref}} \cdot 1,94975 \cdot (1 - e^{-0,013 \cdot Kor})^{1,52581}$$

A mellékállomány referencia magassága ( $H_{gm \text{ ref}}$ ) 80 éves korban 3 méteres osztásközökkel lett felosztva, az élőállomány referencia magasságához képest 6 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:

$$D_{gm} = (0,35817 + 0,00615 \cdot Kor) \cdot H_{gm}$$

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:

$$V_m = (0,56147 \cdot H_{gm}) \cdot G_m$$

### Az összes fatermés jellemzőinek kiszámítása

Az összes előhasználat fatömege:

$$V_{\ddot{o}eh} = a \text{ mellékállomány fatömegének összegzése}$$

Az összes fatermés fatérfogata:

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

Előhasználati részarány:

$$Ehr = \frac{V_{\ddot{o}eh}}{V_{\ddot{o}f}} \cdot 100$$

Az összes fatermés átlagnövedéke:

$$I_{\ddot{a}} = \frac{V_{\ddot{o}f}}{Kor}$$

Az összes fatermés folyónövedéke:

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

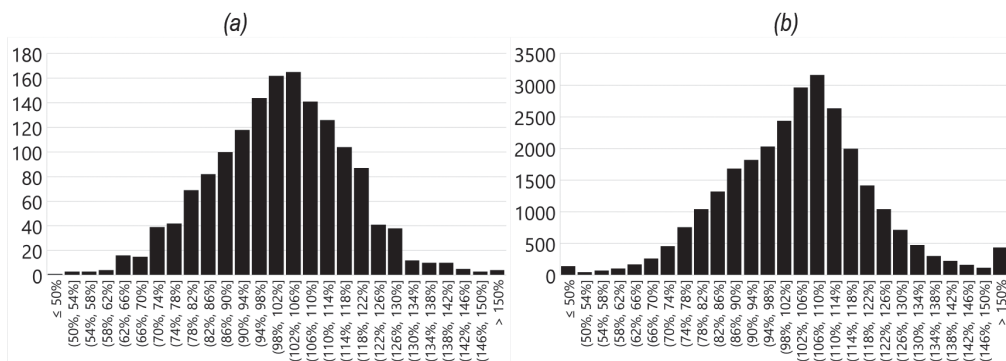
### A sűrűség meghatározása

A korábbi táblák szerkesztésekor az ERTI parcellákat 100% sűrűségűnek vették, 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.

$$S\% = \frac{G_{\ddot{e}}}{G_{\text{t\ddot{a}bla}}}$$

Az így kapott sűrűség értékkel módosítjuk a Törzsszám, Körlap és Fatérfogat adatokat 100% sűrűségre. Ezáltal ezen adatok is felveszik az osztályonkénti eloszlást. A sűrűség értékeket kiszámítottuk az Országos Erdőállomány bükk fajfajsortaira is. Az állományok sűrűsége a kísérleti parcellák és az Országos Erdőállomány Adatbázis adatai alapján is középpontos,  $\pm 50\%$  tartományban értelmezhető (2. ábra). A sűrűséggel módosított adatok alapján újra elvégezzük a fatermési tábla paramétereinek kiszámítását.



2. ábra: A magyarországi tartamkísérleti hálózat bükk (*Fagus sylvatica*) főfafajú parcelláinak (a) és az Országos Erdőállomány Adattár bükk fafajсорainak (b) sűrűségi histogramjai  
 Figure 2: The density histograms of the Hungarian long duration research network's parcels for beech (*Fagus sylvatica*) main species (a) and the beech species lines of National Forestry Database (b)

## FATERMÉSI TÁBLÁK

Az új bükkös 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 bükk fatermési tábla (1-6. táblázat) jelentősen eltér a korábban publikáltaktól. Természetesen ez az eltérés faállomány-szerkezeti jellemzőkként, korszakonként és fatermési osztályonként is jelentősen különbözik. Jellemzően a törzszám csökkent, míg 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), 1983-as bükk fatermési tábla (Mendlik 1983) és az újonnan elkészített fatermési tábla fatermési osztályonkénti vezérgörbéit diagramokon ábrázoltuk (3-11. ábrák). Sopp László 1974-es fatermési táblája az 1968-ban publikált bükk fatermési tábla adatain alapszik (Mendlik & Birck 1968). Eredményeink ellenőrzésére a diagramokon feltüntettük az Országos Erdőállomány Adattár 2012 évi bükk 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 bükk fajfaj elegyarányát, záródását és sűrűségének kiszámításához annak körlelapját.



1. táblázat: Bükk (*Fagus sylvatica*) fatermési tábla, I. fatermési osztály, Kollár 2022  
Table 1: Beech (*Fagus sylvatica*) yield table, I. yield class, Kollár 2022

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>a</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	3	1	1	163775	6	4	1	0					4	1	1	
10	5	3	2	41448	14	26	2	1	122326	8	10	10	28	36	4	6
15	8	6	4	16798	19	64	4	2	24650	6	13	23	26	86	6	10
20	11	8	6	8613	23	113	6	3	8185	5	16	39	26	151	8	13
25	13	11	8	5092	26	169	8	4	3522	4	18	57	25	226	9	15
30	16	14	10	3313	29	228	10	5	1779	4	21	78	25	306	10	16
35	19	17	13	2309	30	290	12	7	1004	4	23	102	26	391	11	17
40	21	19	16	1695	32	351	14	8	614	3	26	127	27	478	12	17
45	23	21	18	1296	33	411	16	10	399	3	27	155	27	565	13	17
50	26	24	21	1024	34	468	18	12	272	3	29	184	28	652	13	17
55	28	26	23	830	35	524	20	14	193	3	31	215	29	738	13	17
60	29	28	26	688	36	576	21	16	142	3	32	247	30	823	14	17
65	31	29	28	581	37	625	23	18	107	3	33	280	31	906	14	17
70	33	31	31	499	38	672	25	20	82	2	35	315	32	986	14	16
75	34	33	34	434	38	715	26	22	65	2	36	350	33	1065	14	16
80	35	34	36	382	39	755	28	24	52	2	36	387	34	1142	14	15
85	36	35	38	340	39	793	29	26	42	2	37	424	35	1217	14	15
90	37	36	41	305	40	828	31	28	35	2	38	462	36	1289	14	15
95	38	37	43	276	40	860	32	30	29	2	38	500	37	1360	14	14
100	39	38	45	251	40	890	34	33	25	2	39	539	38	1428	14	14
105	40	39	48	230	41	917	35	35	21	2	39	578	39	1495	14	13
110	41	40	50	212	41	942	36	37	18	2	39	617	40	1560	14	13
115	41	41	52	196	41	966	37	39	16	2	40	657	40	1623	14	13
120	42	41	54	182	42	988	38	42	14	2	40	697	41	1684	14	12
125	43	42	56	170	42	1008	39	44	12	2	40	737	42	1744	14	12
130	43	42	58	160	42	1026	40	46	11	2	40	777	43	1803	14	12
135	43	43	60	150	42	1043	41	48	10	2	40	817	44	1860	14	11
140	44	43	62	142	43	1059	42	51	9	2	40	857	45	1916	14	11
145	44	44	64	134	43	1073	42	53	8	2	40	897	46	1971	14	11
150	44	44	66	127	43	1087	43	55	7	2	40	938	46	2025	13	11
155	45	44	67	121	43	1099	44	57	6	2	40	978	47	2077	13	11
160	45	45	69	115	43	1111	44	60	6	2	40	1018	48	2129	13	10



2. táblázat: Bükk (*Fagus sylvatica*) fatermési tábla, II. fatermési osztály, Kollár 2022  
 Table 2: Beech (*Fagus sylvatica*) yield table, II. yield class, Kollár 2022

II. 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>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>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	3	1	1	181649	6	3	1	0						3	1	1	
10	5	3	2	47111	13	22	2	1	134538	7	8	8	26	30	3	5	
15	7	5	3	19315	18	55	3	2	27796	5	10	18	25	73	5	9	
20	10	8	5	9973	22	99	5	2	9342	4	13	31	24	130	6	11	
25	12	10	7	5924	25	149	7	4	4050	4	15	46	24	195	8	13	
30	15	13	10	3867	28	202	9	5	2057	4	17	63	24	265	9	14	
35	17	15	12	2702	30	257	10	6	1165	3	19	83	24	340	10	15	
40	19	17	14	1988	31	312	12	7	714	3	21	104	25	416	10	15	
45	22	20	17	1522	33	365	14	9	466	3	23	127	26	492	11	15	
50	24	22	19	1204	34	417	16	10	318	3	24	151	27	568	11	15	
55	25	24	21	977	35	467	17	12	226	3	26	177	27	644	12	15	
60	27	25	24	811	36	514	19	14	166	3	27	204	28	718	12	15	
65	29	27	26	686	36	559	21	16	125	2	28	231	29	790	12	14	
70	30	28	28	589	37	601	22	17	97	2	29	260	30	861	12	14	
75	31	30	31	512	38	640	24	19	76	2	30	290	31	930	12	14	
80	32	31	33	451	38	676	25	21	61	2	30	321	32	997	12	13	
85	33	32	35	401	39	710	26	23	50	2	31	352	33	1062	12	13	
90	34	33	37	360	39	742	28	25	41	2	32	383	34	1125	12	13	
95	35	34	39	326	39	771	29	27	34	2	32	415	35	1186	12	12	
100	36	35	41	297	40	798	30	29	29	2	33	448	36	1246	12	12	
105	37	36	43	272	40	823	31	31	25	2	33	481	37	1303	12	12	
110	38	36	45	251	40	846	32	33	21	2	33	514	38	1359	12	11	
115	38	37	47	232	41	867	33	35	18	2	33	547	39	1414	12	11	
120	39	38	49	216	41	887	34	37	16	2	34	581	40	1467	12	11	
125	39	38	51	202	41	905	35	39	14	2	34	614	40	1519	12	10	
130	40	39	53	189	42	921	36	41	13	2	34	648	41	1569	12	10	
135	40	39	55	178	42	937	36	43	11	2	34	682	42	1619	12	10	
140	40	40	56	168	42	951	37	45	10	2	34	716	43	1667	12	10	
145	41	40	58	159	42	964	38	47	9	2	34	750	44	1714	12	9	
150	41	40	60	151	42	977	39	49	8	2	34	784	45	1760	12	9	
155	41	40	62	143	43	988	39	51	7	2	34	817	45	1805	12	9	
160	41	41	63	136	43	998	40	53	7	2	34	851	46	1850	12	9	

3. táblázat: Bükk (*Fagus sylvatica*) fatermési tábla, III. fatermési osztály, Kollár 2022Table 3: Beech (*Fagus sylvatica*) yield table, III. yield class, Kollár 2022

III. fto.	Élőállomány						Mellékállomány					V <sub>geh</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>of</sub>	I <sub>a</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	3	1	1	203060	5	3	1	0						3	1	1
10	5	3	2	54132	12	19	2	1	148927	6	6	6	24	25	2	4
15	7	5	3	22486	17	47	3	1	31646	5	8	14	23	61	4	7
20	9	7	5	11702	21	85	5	2	10783	4	10	24	22	109	5	10
25	11	9	7	6988	24	129	6	3	4714	4	12	36	22	165	7	11
30	14	12	9	4579	27	176	8	4	2409	3	14	50	22	226	8	12
35	16	14	11	3209	29	225	9	5	1370	3	15	65	22	290	8	13
40	18	16	13	2366	30	273	11	7	843	3	17	82	23	356	9	13
45	20	18	15	1816	32	321	12	8	551	3	18	101	24	422	9	13
50	22	20	17	1438	33	367	14	9	378	3	20	120	25	488	10	13
55	23	21	19	1169	34	412	15	11	269	2	21	141	26	553	10	13
60	25	23	21	971	35	454	17	12	198	2	22	163	26	617	10	13
65	26	24	23	822	35	494	18	14	149	2	23	186	27	679	10	12
70	27	26	26	706	36	531	19	15	116	2	23	209	28	740	11	12
75	29	27	28	615	37	566	21	17	91	2	24	233	29	799	11	12
80	30	28	30	542	37	598	22	19	73	2	25	258	30	857	11	11
85	31	29	32	482	38	629	23	20	60	2	25	283	31	912	11	11
90	31	30	34	433	38	657	24	22	49	2	26	309	32	966	11	11
95	32	31	35	392	39	683	25	24	41	2	26	335	33	1018	11	10
100	33	32	37	357	39	707	26	26	35	2	27	362	34	1069	11	10
105	34	32	39	327	39	729	27	27	30	2	27	389	35	1118	11	10
110	34	33	41	302	40	750	28	29	26	2	27	416	36	1166	11	10
115	35	34	43	280	40	769	29	31	22	2	27	443	37	1212	11	9
120	35	34	44	260	40	787	30	33	19	2	27	470	37	1257	10	9
125	36	35	46	243	41	803	31	35	17	2	28	498	38	1301	10	9
130	36	35	48	228	41	818	31	36	15	2	28	526	39	1344	10	9
135	36	35	49	215	41	832	32	38	13	2	28	553	40	1385	10	8
140	37	36	51	202	41	845	33	40	12	2	28	581	41	1426	10	8
145	37	36	53	192	42	856	33	42	11	1	28	609	42	1465	10	8
150	37	36	54	182	42	867	34	43	10	1	28	637	42	1504	10	8
155	38	37	56	173	42	878	34	45	9	1	28	664	43	1542	10	8
160	38	37	57	165	42	887	35	47	8	1	28	692	44	1579	10	7

4. táblázat: Bükk (*Fagus sylvatica*) fatermési tábla, IV. fatermési osztály, Kollár 2022  
 Table 4: Beech (*Fagus sylvatica*) yield table, IV. yield class, Kollár 2022

IV. 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>
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	3	1	1	229100	5	2	1	0						2	0	0
10	5	2	2	63014	11	16	1	1	166085	5	4	4	21	20	2	3
15	6	4	3	26568	16	40	3	1	36446	4	6	10	20	50	3	6
20	8	6	4	13953	20	72	4	2	12615	3	8	18	20	90	5	8
25	10	8	6	8383	23	110	5	3	5570	3	9	27	20	137	5	9
30	12	10	8	5518	26	151	7	4	2865	3	11	37	20	189	6	10
35	14	12	10	3881	28	194	8	5	1638	3	12	49	20	243	7	11
40	16	14	11	2869	29	236	9	6	1012	3	13	63	21	299	7	11
45	18	16	13	2206	31	278	11	7	663	2	14	77	22	355	8	11
50	19	17	15	1750	32	318	12	8	456	2	15	92	22	410	8	11
55	21	19	17	1425	33	357	13	9	325	2	16	108	23	466	8	11
60	22	20	19	1185	34	394	14	11	240	2	17	125	24	520	9	11
65	24	22	21	1004	35	429	16	12	181	2	18	143	25	572	9	11
70	25	23	23	864	35	462	17	13	140	2	18	161	26	624	9	10
75	26	24	25	753	36	493	18	15	111	2	19	180	27	673	9	10
80	27	25	26	664	36	522	19	16	89	2	19	200	28	722	9	10
85	28	26	28	591	37	548	20	18	73	2	20	220	29	768	9	9
90	28	27	30	531	37	573	21	19	60	2	20	240	30	813	9	9
95	29	28	32	481	38	596	22	21	50	2	21	261	30	857	9	9
100	30	28	33	438	38	618	23	22	42	2	21	281	31	899	9	8
105	30	29	35	402	39	637	24	24	36	2	21	303	32	940	9	8
110	31	29	37	371	39	656	24	25	31	2	21	324	33	980	9	8
115	31	30	38	344	39	673	25	27	27	2	21	345	34	1018	9	8
120	32	30	40	320	40	688	26	28	24	1	22	367	35	1055	9	7
125	32	31	41	299	40	703	26	30	21	1	22	389	36	1091	9	7
130	33	31	43	280	40	716	27	31	19	1	22	410	36	1126	9	7
135	33	32	44	264	40	728	28	33	17	1	22	432	37	1160	9	7
140	33	32	46	249	41	740	28	34	15	1	22	454	38	1194	9	7
145	34	32	47	236	41	750	29	36	13	1	22	476	39	1226	8	6
150	34	32	48	224	41	760	29	37	12	1	22	498	40	1258	8	6
155	34	33	50	213	41	769	30	39	11	1	22	520	40	1289	8	6
160	34	33	51	203	41	777	30	40	10	1	22	542	41	1319	8	6

5. táblázat: Bükk (*Fagus sylvatica*) fatermési tábla, V. fatermési osztály, Kollár 2022Table 5: Beech (*Fagus sylvatica*) yield table, V. yield class, Kollár 2022

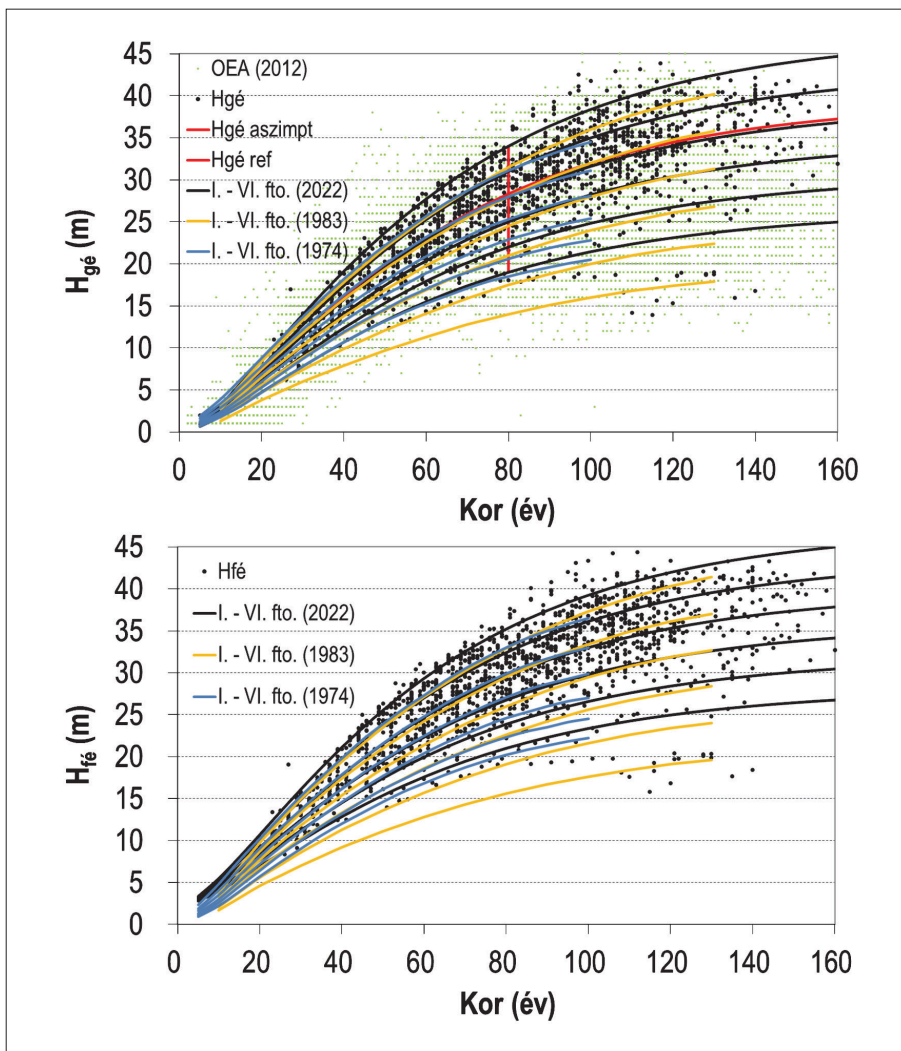
V. ftó.	Élőállomány						Mellékállomány						V <sub>öeh</sub>	Ehr	Összes fatermés		
	Kor	H <sub>fé</sub>	H <sub>gé</sub>	D <sub>gé</sub>	N <sub>é</sub>	G <sub>é</sub>	V <sub>é</sub>	H <sub>gm</sub>	D <sub>gm</sub>	N <sub>m</sub>	G <sub>m</sub>	V <sub>m</sub>			V <sub>öf</sub>	I <sub>á</sub>	I <sub>f</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	3	1	0	261350	4	2	0	0						2	0	0	
10	4	2	1	74528	10	13	1	1	186822	4	3	3	19	15	2	3	
15	6	4	2	31971	15	33	2	1	42557	3	4	7	18	40	3	5	
20	8	5	4	16968	19	60	3	2	15003	3	5	12	17	72	4	7	
25	9	7	5	10269	22	92	4	2	6699	3	7	19	17	111	4	8	
30	11	9	7	6795	25	127	6	3	3474	2	8	27	17	154	5	8	
35	13	11	8	4798	26	163	7	4	1997	2	9	35	18	198	6	9	
40	15	12	10	3558	28	199	8	5	1239	2	10	45	18	244	6	9	
45	16	14	12	2743	30	235	9	6	815	2	10	55	19	291	6	9	
50	17	15	13	2181	31	270	10	7	562	2	11	67	20	337	7	9	
55	19	17	15	1779	32	304	11	8	402	2	12	79	21	382	7	9	
60	20	18	17	1482	33	336	12	9	297	2	13	91	21	427	7	9	
65	21	19	18	1257	33	366	13	10	225	2	13	104	22	470	7	9	
70	22	20	20	1082	34	395	14	11	175	2	14	118	23	513	7	8	
75	23	21	22	944	35	421	15	12	138	2	14	132	24	553	7	8	
80	24	22	23	833	35	446	16	14	111	2	14	147	25	593	7	8	
85	25	23	25	742	36	469	17	15	91	2	15	161	26	631	7	8	
90	25	24	26	667	36	491	18	16	75	2	15	176	26	668	7	7	
95	26	24	28	605	37	511	18	17	63	1	15	192	27	703	7	7	
100	27	25	29	551	37	530	19	19	53	1	16	207	28	737	7	7	
105	27	25	31	506	38	547	20	20	45	1	16	223	29	770	7	7	
110	28	26	32	467	38	563	21	21	39	1	16	239	30	802	7	6	
115	28	26	34	433	38	577	21	23	34	1	16	255	31	833	7	6	
120	28	27	35	403	39	591	22	24	30	1	16	271	31	862	7	6	
125	29	27	36	377	39	604	22	25	26	1	16	288	32	891	7	6	
130	29	27	38	354	39	615	23	26	23	1	16	304	33	919	7	6	
135	29	28	39	333	39	626	23	28	21	1	16	320	34	946	7	5	
140	30	28	40	314	40	636	24	29	19	1	16	337	35	973	7	5	
145	30	28	41	297	40	645	24	30	17	1	16	353	35	998	7	5	
150	30	29	42	282	40	654	25	32	15	1	16	370	36	1023	7	5	
155	30	29	44	268	40	662	25	33	14	1	16	386	37	1048	7	5	
160	30	29	45	256	40	669	25	34	13	1	16	403	38	1072	7	5	

6. táblázat: Bükk (*Fagus sylvatica*) fatermési tábla, VI. fatermési osztály, Kollár 2022

 Table 6: Beech (*Fagus sylvatica*) yield table, VI. yield class, Kollár 2022

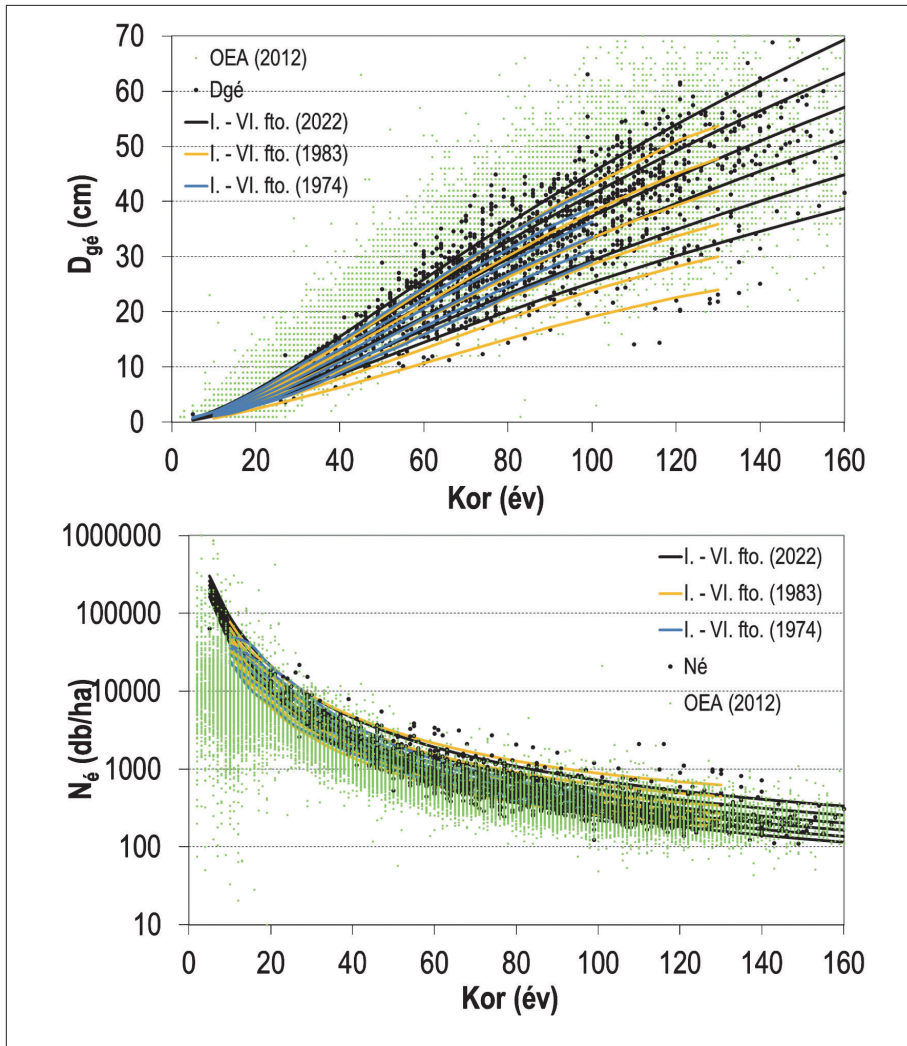
VI. fto.	Élőállomány						Mellékállomány					V <sub>öeh</sub>	Ehr	Összes fatermés			VI. fto.
	Kor	H <sub>fé</sub>	H <sub>gé</sub>	D <sub>gé</sub>	N <sub>é</sub>	G <sub>é</sub>	V <sub>é</sub>	H <sub>gm</sub>	D <sub>gm</sub>	N <sub>m</sub>	G <sub>m</sub>			V <sub>m</sub>	V <sub>of</sub>	I <sub>a</sub>	
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		év
5	3	1	0	302185	4	1	0	0						1	0	0	5
10	4	2	1	89914	9	10	1	0	212270	3	2	2	15	11	1	2	10
15	5	3	2	39368	14	26	2	1	50546	3	3	4	14	30	2	4	15
20	7	5	3	21157	18	48	3	1	18210	2	4	8	14	56	3	5	20
25	8	6	5	12914	21	75	4	2	8243	2	4	12	14	87	3	6	25
30	10	8	6	8600	23	103	5	2	4315	2	5	17	14	121	4	7	30
35	11	9	7	6101	25	134	5	3	2499	2	6	23	15	157	4	7	35
40	13	11	9	4542	27	164	6	4	1559	2	6	30	15	194	5	7	40
45	14	12	10	3512	28	194	7	5	1030	2	7	37	16	231	5	7	45
50	15	13	12	2800	29	224	8	5	712	2	8	44	17	268	5	7	50
55	17	14	13	2288	31	252	9	6	511	2	8	53	17	304	6	7	55
60	18	15	14	1910	31	279	10	7	379	2	9	61	18	340	6	7	60
65	19	16	16	1622	32	304	11	8	288	1	9	70	19	375	6	7	65
70	19	17	17	1398	33	329	12	9	223	1	9	80	19	408	6	7	70
75	20	18	19	1221	34	351	12	10	177	1	10	89	20	440	6	6	75
80	21	19	20	1079	34	372	13	11	143	1	10	99	21	472	6	6	80
85	22	20	21	962	35	392	14	12	117	1	10	109	22	502	6	6	85
90	22	20	23	866	35	410	14	13	97	1	10	120	23	530	6	6	90
95	23	21	24	785	36	428	15	14	81	1	11	130	23	558	6	6	95
100	23	21	25	717	36	443	16	15	69	1	11	141	24	585	6	5	100
105	24	22	27	658	36	458	16	16	59	1	11	152	25	610	6	5	105
110	24	22	28	607	37	472	17	17	51	1	11	163	26	635	6	5	110
115	25	23	29	563	37	484	17	18	44	1	11	174	26	659	6	5	115
120	25	23	30	525	37	496	18	19	39	1	11	186	27	681	6	5	120
125	25	23	31	491	38	507	18	20	34	1	11	197	28	703	6	4	125
130	26	24	32	461	38	517	19	21	30	1	11	208	29	725	6	4	130
135	26	24	34	434	38	526	19	23	27	1	11	220	29	745	6	4	135
140	26	24	35	410	39	534	19	24	24	1	11	231	30	765	5	4	140
145	26	24	36	388	39	542	20	25	22	1	11	242	31	785	5	4	145
150	26	25	37	368	39	550	20	26	20	1	11	254	32	803	5	4	150
155	27	25	38	350	39	556	20	27	18	1	11	265	32	822	5	4	155
160	27	25	39	334	39	563	21	28	16	1	11	277	33	839	5	4	160





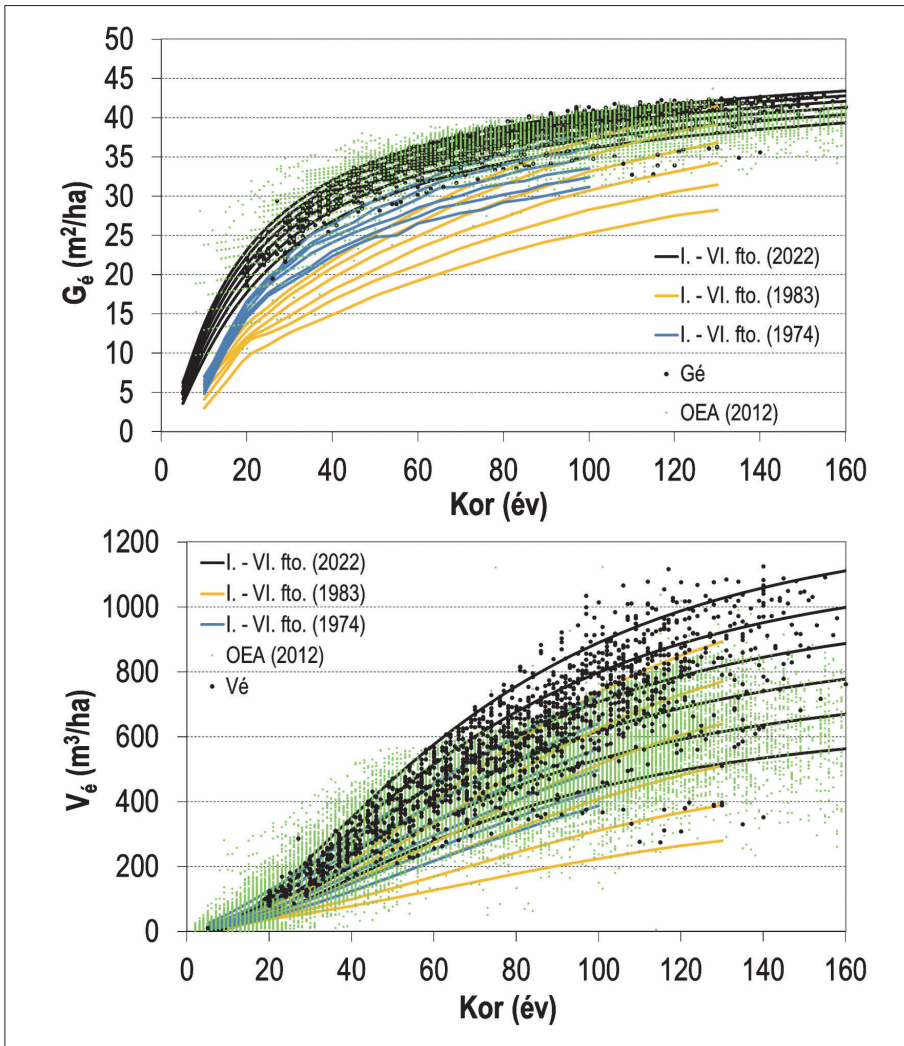
3. ábra: Az élőállomány átlagos és felső magassága a kor függvényében ( $H_{gé}$ ,  $H_{fé}$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1983-as fatermési tábla adataival (sárga görbék).  $H_{gé}$  esetében az Országos Erdőállomány Adattár adatai (zöld pontok), az aszimptotikus vezérgörbe (piros görbe) 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 1983 (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 ( $D_{gé}$ ,  $N_{é}$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1983-as 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 ( $D_{gé}$ ,  $N_{é}$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves) and 1983 (yellow curves). The data of the National Forestry Database (green dots) are also visible



5. ábra: Az élőállomány körlapösszege és fatérfogata a kor függvényében ( $G_6$ ,  $V_6$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1983-as 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 ( $G_6$ ,  $V_6$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves) and 1983 (yellow curves). The data of the National Forestry Database (green dots) are also visible

Az élőállomány átlagmagassága ( $H_{ge}$ ) és felsőmagassága ( $H_{fe}$ ) esetében (3. ábra) megfigyelhető, hogy a 1983-as tábla gyenge fatermési osztályai nem jelennek meg az adatokban, illetve mindkét korábbi tábla I. fatermési osztálya alulbecsült, ezért gyakorlatilag el kell tolni a görbéket. A hatodik fatermési osztályban majdnem másfél osztállyal, míg az első fatermési osztályban kb. fél fatermési

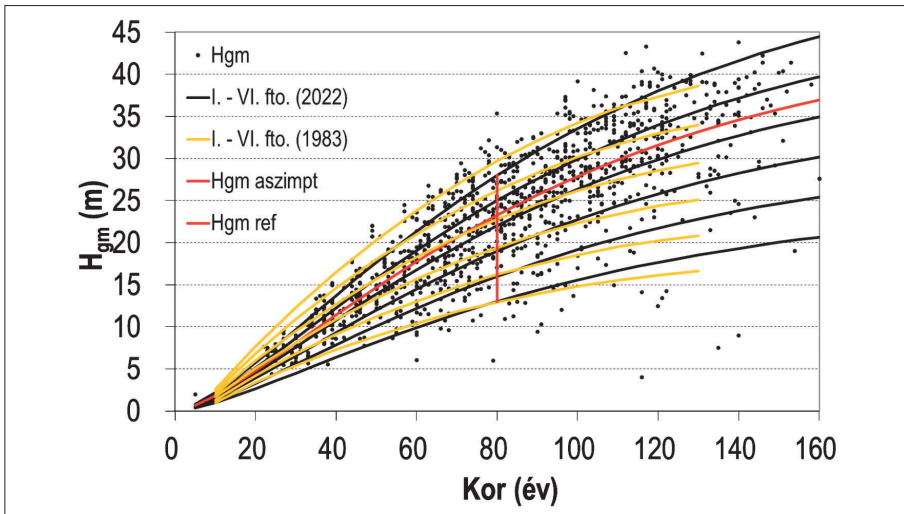
osztállyal. Az Országos Erdőállomány Adattár adatai megerősítik, hogy a korábbi 6. fatermési osztály megléte szükségtelen. A Sopp tábla 100 éves, a Mendlik tábla pedig csak 130 éves korig adta meg az adatokat, míg a mostani adatsorok 160 éves korig érvényesek, ami szükséges lehet a vágáskorok emelkedésének tendenciái miatt.

Az élőállomány átlag átmérője ( $D_{g\bar{e}}$ ) esetében (4. ábra) az 1974-es tábla egy szűkebb tartományt adott meg, míg az 1983-as táblához képest kb. egy fatermési osztálynyi felfelé való eltolódás látható. Érdekes, hogy az adattár az átlagos átmérőket jelentősen feljebb méri. A törzsszámok ( $N_{\bar{e}}$ ) 1983-as táblához képest enyhe csökkenést mutatnak, míg az 1974-es tábla jóval szűkebb tartományt használ a gyenge fatermési osztályok rovására. Az adattár itt jelentősen kisebb törzsszámokat mutat.

Az élőállomány körlapösszege ( $G_{\bar{e}}$ ) összegzi a korábbiakat (5. ábra), miszerint az átlagátmérő növekedett, a törzsszám csökkent, ezáltal a körlap egy viszonylag szűkebb tartományt vesz fel, és időskorban ezt tartja. Az 1974-es és 1983-as táblák jelentősen alulbecslik az új adatokat. A tartamkísérleti parcellák körlapösszegének eredeti szórása jelentős, mely a felvételek gyéritéshez való viszonyával magyarázható. Ahol gyérités utániak a felvételek, jellemzően kisebb körlapot mutatnak, míg ahol a gyéritések 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 ( $V_{\bar{e}}$ ) a gyenge fatermési osztályoknál kétszázalékos eltolódást mutat, míg a legjobb fatermési osztályban egy fatermési osztály eltolódás látható időskorban az 1983-as táblához képest, míg az 1974-es tábla itt is szűkebb tartományt használ. Az adattár ezzel szemben fiatal korban felfelé, idősebb korban inkább lefelé becsli az állományok fatérfogatát.

A mellékállományra vonatkozó átlagmagasság és átlagátmérő ( $H_{gm}$ ,  $D_{gm}$ ) adatok jól fedik mind az 1983-as, mind az újonnan megalkotott tábla adatait. A törzsszám, körlap és fatérfogat adatok ( $N_m$ ,  $G_m$ ,  $V_m$ ) diagramjain csak enyhe növekedés látható, (6-8. ábra). A mellékállományról az 1974-es tábla csak fatérfogat és számított törzsszám adatot tartalmaz, mely szűkebb tartományt ölel fel.

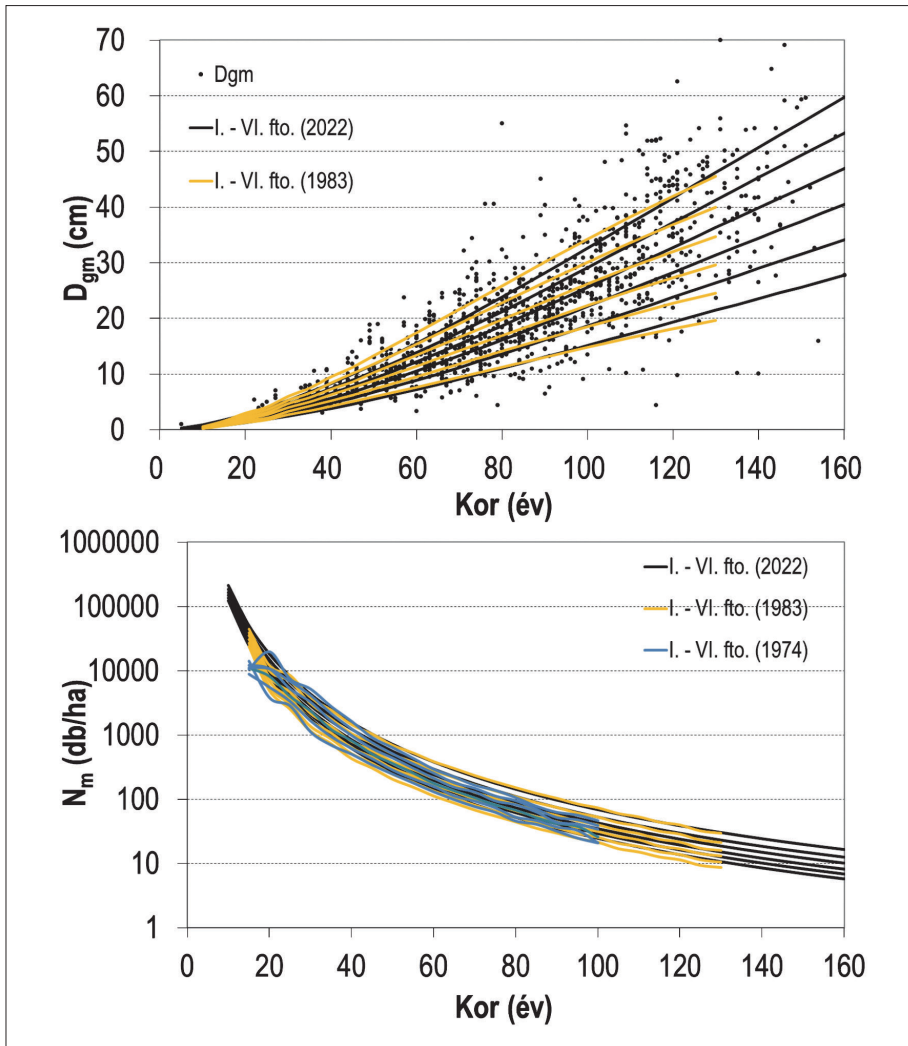
Az adatbázis mellékállományra vonatkozó törzsszám, körlap és fatérfogat ( $N_m$ ,  $G_m$ ,  $V_m$ ) adatpontokat nem jelenítettük meg a diagrammokon, melynek oka, hogy a pontok nem fedik a diagrammokat, szórásuk jelentős. Az adatpontok jelentős szórásának oka, hogy a táblaszerkesztés periódusideje eltér a mintavételezés és gyéritési beavatkozások időszakosságától is. A sűrűn egymást követő mintavételeket, alacsony időközi természetes mortalitást (alacsony értékek) és az idősebb korban ritkán végrehajtott erőteljesebb gyéritéseket 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 26 év) is megtalálhatóak az adatokban (átlagosan 7 év). A mintapontok esetében egy-egy fa elszáradása, természetes mortalitása, kisebb és nagyobb arányú gyéritések felvételhez viszonyított időbeli távolsága is jelentős szórást generál. Egy-egy gyérités egymáshoz viszonyított ideje 7-25 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 gyérités következik be, majd hosszabb ideig újra magára lehet hagyva az állomány.



6. ábra: A mellékállomány átlagos magassága a kor függvényében ( $H_{gm}$ ), összehasonlítva az 1983-as fatermési tábla adataival (sárga görbék). Az aszimptotikus vezérgörbe (piros görbe) és a 80 éves referenciakor magasság (piros függőleges vonal) is látható

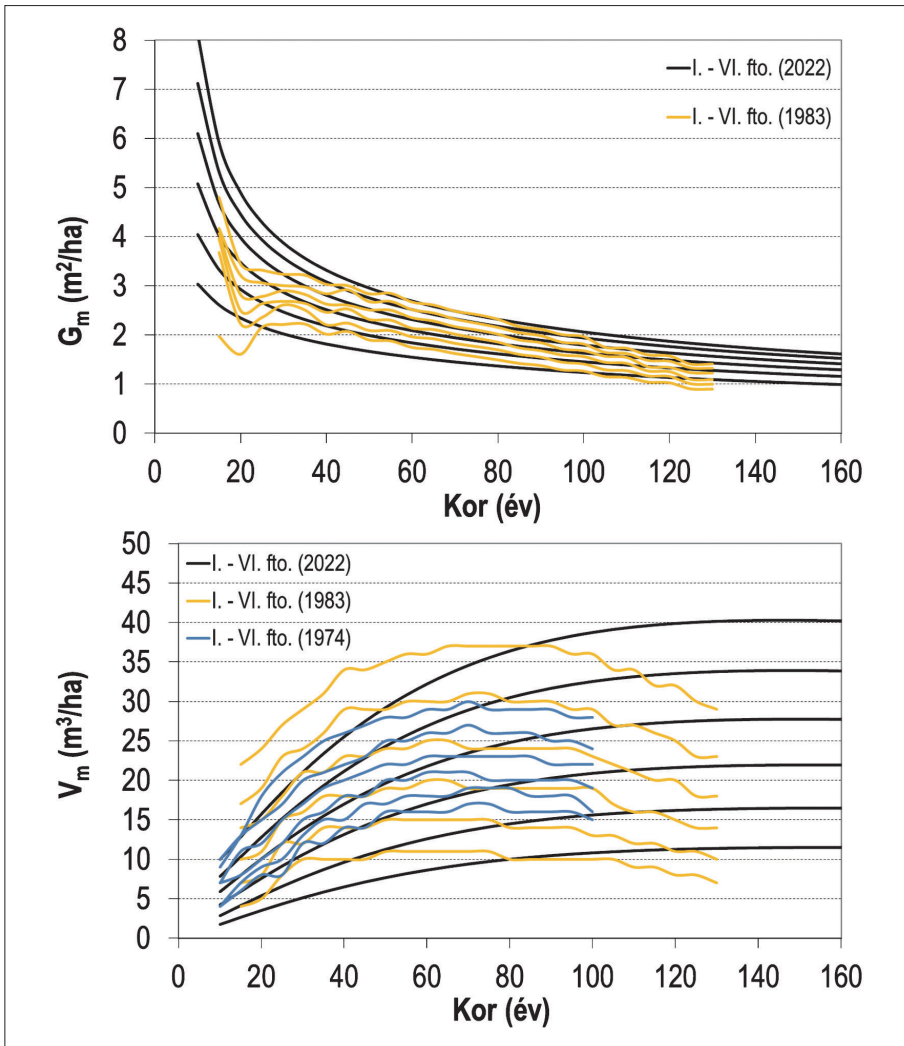
Figure 6: The average height for secondary stand depends on age ( $H_{gm}$ ), compare with the yield table data from 1983 (yellow curves). The asymptotic lead curve (red curve) and the 80 years old reference height (red vertical line) are also visible





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 1983-as 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 1983 (yellow curves)

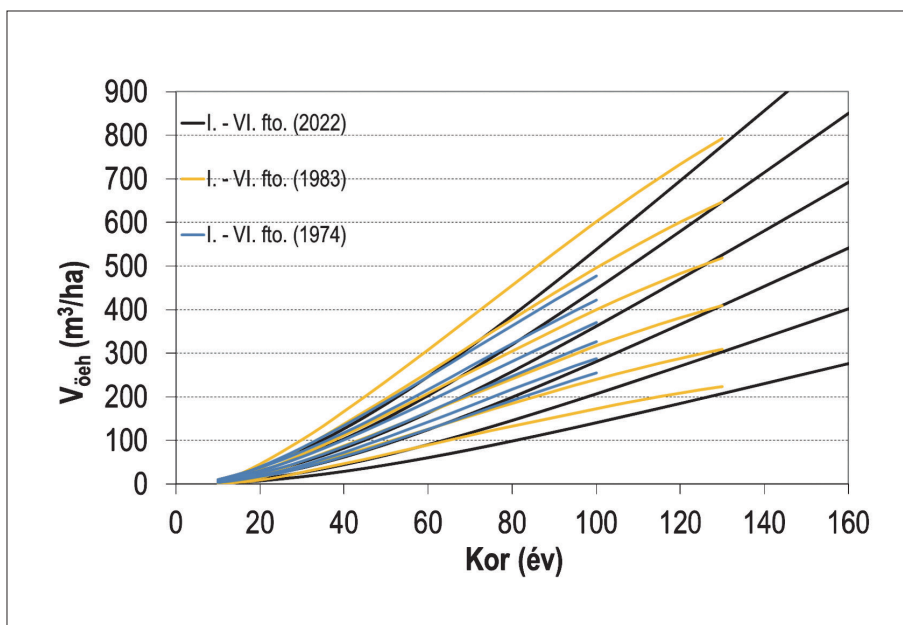


8. ábra: A mellékállomány körlapösszege és fatérfogata a kor függvényében ( $G_m$ ,  $V_m$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék, csak  $V_m$ ) és 1983-as fatermési tábla adataival (sárga görbék)  
 Figure 8: The basal-area and timber volume for secondary stand depend on age ( $G_m$ ,  $V_m$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves, only  $V_m$ ) and 1983 (yellow curves)

Az összes fatermésre vonatkozó adatok szintén jelentős változásokat mutatnak. Az 1974-es táblában szűk tartományt vesznek fel az adatok. Az 1983-as táblához képest az összes előhasználat ( $V_{\text{öeh}}$ ) hasonlóságot mutat (9. ábra). Az előhasználati részarányok (Ehr) egészen más számértékeket mutatnak (10. ábra). Az összes fatermés fatérfogata ( $V_{\text{öf}}$ ) félosztálynyi eltolódást mutat I. fatermési osztály esetén, míg 6. fatermési osztályban egy osztálynyi a különbség.

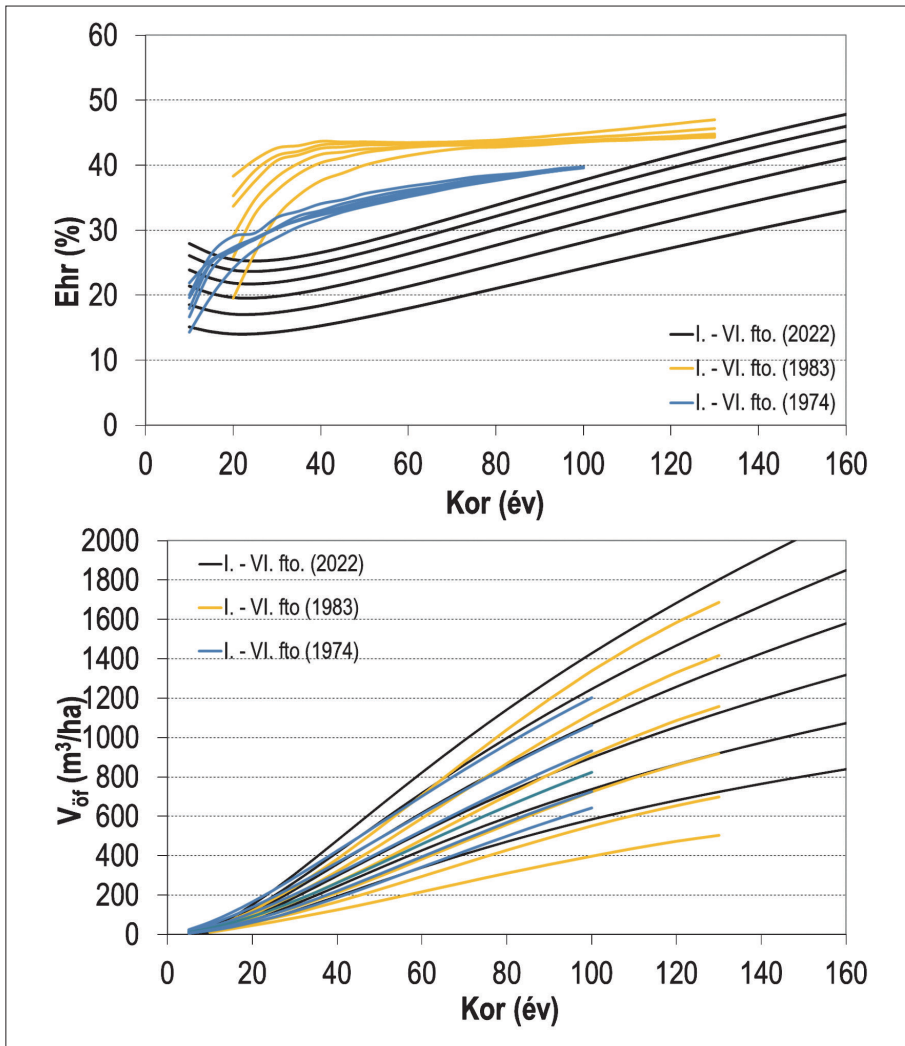
A bükkösök átlagnövedéke ( $I_a$ ) összegzi a korábbiakat (11. ábra), 40 éves korban  $2 m^3/ha/év$ , míg 80 éves kor felett  $1 m^3/ha/év$  értékkel lehetséges megnövelni a bükkösök átlagos növedékének becslését az 1983-as táblához képest, míg az 1974-es adatokhoz képest még nagyobb növekedés látható a jó fatermési osztályokban. A folyónövedék ( $I_f$ ) esetében a fiatal kori folyónövedék gyor-

sabb emelkedése, illetve az időskori folyónövedék csekélyebb meredeksége szembevetendő. Emellett a gyenge fatermési osztályok növedéke is jelentősebb az 1983-as táblához viszonyítva. Megjegyzendő, hogy az erdőállomány adattár növedékesítésére használt adatpontok nem fedik az 1983-as görbékét, míg az 1974-es görbékre jobban illeszkednek, de nem tökéletesen. Ennek oka, 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 bükk állományok lehetséges fatermését, azonban ennek okát még nem sikerült megállapítani.



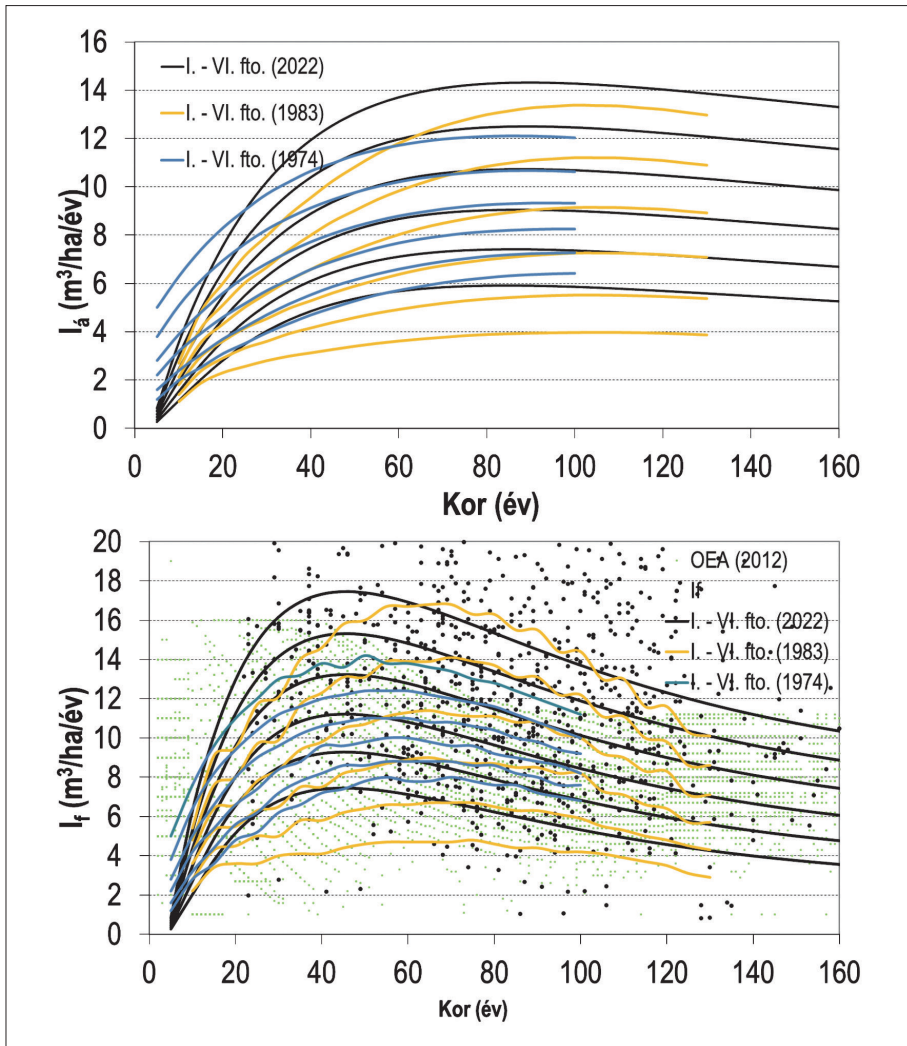
9. ábra: Az összes előhasználat a kor függvényében ( $V_{\text{öeh}}$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1983-as fatermési tábla adataival (sárga görbék)

Figure 9: The total intermediate cutting depends on age ( $V_{\text{öeh}}$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves) and 1983 (yellow curves)



10. ábra: Az előhasználati részarány és az összes fatermés fatérfogata a kor függvényében ( $E_{hr}$ ,  $V_{\text{öf}}$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1983-as fatermési tábla adataival (sárga görbék)

Figure 10: The intermediate cutting ratio and the total timber production depend on age ( $E_{hr}$ ,  $V_{\text{öf}}$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves) and 1983 (yellow curves)



11. ábra: Az átlag- és folyónövedék a kor függvényében ( $I_a$ ,  $I_p$ ), összehasonlítva az 1974-es (kék görbék) és 1983-as fatermési tábla adataival (sárga görbék).  $I_p$  esetében az Országos Erdőállomány Adattár adatai (zöld pontok) is láthatóak

Figure 11: The average and current increment depend on age ( $I_a$ ,  $I_p$ ), compare with the yield table data from 1974 (blue curves) 1983 (yellow curves). In case of  $I_p$  the data of the National Forestry Database (green dots) are also visible

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az 1974-es tábla jellemzően szűkebb tartományokat használ, míg az utoljára 1983-ban publikált Mendlik féle bükk fatermési tábla adataink alapján alulbecsli a bükk faj faj növedékét, ezért új fatermési táblát készítettünk a bükk fajúra. 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 1983 előtt, illetve az adatok digitális feldolgozása is pontosabb eredményeket ad, mint a korábban manuálisan összegzett adatok. A bükk főfajú 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 és függvények használatát a gazdálkodók, erdőtervezők és kutatók számára, mellyel reméljük, megkönnyítjük és pontosabbá tehetjük munkájukat.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom minden korábbi és jelenlegi kollégámnak, akik segítettek az ERTI bükk főfajú tartamkísérleteinek fenntartását, felvételezését és adatbeviteli munkáit. Külön köszönet Kocsisné Antal Juditnak áldozatos munkájáért. Szintén köszönettel tartozom azoknak az erdőgazdaságoknak, melyek több évtizeden keresztül a rendelkezésünkre bocsájtották az erdőterületeket a kísérletekhez. Szintén köszönöm Veperdi Gábornak, Illés Gábornak, Gál Jánosnak és Kottek Péternek a tanácsaikat. 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.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Béky A., Bondor A., Gabnai E., Hajdú G., Halupa L., Kiss R., Mendlik G., Rédei K., Solymos R. & Veperdi G. 1993: A hosszúlejárú erdőnevelési és fatermési kísérletek létesítésének, felvételezésének és fenntartásának továbbfejlesztett irányelvei. Erdészeti Kutatások 1990-91. 82-83./III.: 197-213.
- Birck O., Kiss R., Márkus L., Solymos R. & Tallós P. 1962: A hosszúlejárú erdőnevelési és fatermési kísérleti területek kitévésének, felvételezésének és fenntartásának irányelvei. Erdészeti kutatások 58 (1-3): 217-259.
- Bondor A. 1986: A bükk. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Horváth L., Illés G., Koltay A., Manninger M., Sitkey J. & Tobisch T. 2009. EVH II. szint, intenzív monitoring. In: Kolozs L. (ed.): Erdővédelmi Mérő- és Megfigyelő Rendszer. Budapest: Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Központ Erdészeti Igazgatóság, 27-55.
- Kollár T. & Borovics A. 2021: A magyarországi hosszú lejárú erdőzeti tartamkísérleti hálózat fenntartásának korszerű irányelvei, adatfeldolgozási módszerei és legfontosabb eredményei. Erdészettudományi Közlemények 11 (1-2): 1-20.
- Mendlik G. 1983: Bükk fatermési tábla. Erdészeti kutatások 75: 189-198.
- Mendlik G. & Birck O. 1968: Bükköseink fatermési vizsgálata. Erdészeti kutatások 64. (1-3): 31-49.
- Microsoft, Corp. 2010: Microsoft Office Profesional Plus.



- NFK-EF 2020: Magyarország erdeinek összefoglaló adatai 2019, Budapest: Nemzeti Földügyi Központ, Erdészeti Főosztály.
- Sopp L., Adorján J., Béky A., Birck O., Faragó S., Fogarasi D., Harkay L., Kiss R., Kovács F., Márkus L., Mendlik G., Palotás F., Solymos R., Szodfridt I. & Tuskó L. 1974: Fatömegszámítási táblázatok fatermési táblákkal, második, átdolgozott, bővített kiadás. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
- Somogyi Z. 1989. A változatosság, mint a természet egyik legfontosabb jelensége: gondolatok a fatermési táblák és függvények alkalmazásához. *Az erdő XXXVIII* (5): 214-218.
- StatSoft Inc. 2011: STATISTICA (data analysis software system), version 10. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Veperdi G. 2005: Faterméstan gyakorlati feladatok. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem.

*Érkezett: 2022. január 12.*

*Közlésre elfogadva: 2022. július 10.*



### Virágkertész hangyák

A hangyák jelentős szerepet töltenek be egyes növények magjainak terjesztésében. Az általuk különböző helyeken „készletezett” magokból lágyszárúak (időnként fásszárúak) bokrai nőnek ki. A bal felső képen egy orvosi veronika (*Veronica officinalis*), a jobb felső képen egy ibolya (*Viola* sp.) hajt ki egy-egy bükk odvából. Az alsó képen egy kőfal repedéséből kinövő borostyánlevelű veronika (*Veronica hederifolia*) látható.

Fotó és szöveg: Csóka György (SOE ERTI)

# A 'NYÍRSÉGI' AKÁC (*ROBINIA PSEUDOACACIA* 'NYÍRSÉGI') NÖVEKEDÉSI VISZONYAI

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

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen

<sup>2</sup>Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Püspökladányi Kísérleti Állomás, Püspökladány

## Kivonat

Az akác hazánk legelterjedtebb keménylombos fafaja. Ez a Magyarországon több mint 300 éve tenyésztő fafaj népszerűségét gyors növekedésének, kemény, tartós fájának, jó nektártermelésének, valamint nagyfokú termőhelyi plaszticitásának köszönheti. Ugyanakkor közismert tény, hogy az akácnál igen gyakori a kedvezőtlen törzsalak előfordulása, mely a faanyag megmunkálhatóságát, értékét jelentősen befolyásolja, s alacsony iparifa-kihozatalt eredményez. A törzsmínőség javítására, valamint a fatermés fokozására nagyszabású kutatómunka indult az 1960-as években az Erdészeti Tudományos Intézetben. A szelekciós nemesítési munka eredményeként nagyszámú akácfaajtát állítottak elő. Ezek egyike a 'Nyírségi' akác, mely az ország számos fajta-összehasonlító kísérletében található meg. A fajtával összefüggő több évtizedes kutató-fejlesztő munka eredményeit összefoglaló tudományos igényességű munka mindez ideig nem jelent meg, így jelen tanulmány hézagpótlóként járulhat hozzá a szelektált akácfaajták termesztési technológiájának fejlesztéséhez.

*Kulcsszavak:* szelektált akácfaajták, faállomány-szerkezet, termesztési technológia

## GROWTH CONDITIONS OF 'NYÍRSÉGI' BLACK LOCUST (*ROBINIA PSEUDOACACIA* 'NYÍRSÉGI')

### Abstract

Black locust is one of the most common hard broadleaved tree species in Hungary. The popularity of this tree, which has been growing in Hungary for more than 300 years, is due to its rapid growth, hard, durable wood, good nectar production, and its high plasticity to different soils. Nevertheless, it is a well-known fact that the occurrence of low stem quality (crookedness of the stem) is very common in black locust stands, which significantly affects the workability and the value of the wood, resulting in low industrial wood yield. In order to improve the stem quality as well as increase the yield, large-scale research work was started in the 1960s at the Hungarian Forestry Research Institute. As a result of this project (selection breeding) we have many black locust cultivars, nowadays. One of them is the 'Nyírségi' black locust, which is found in several variety comparison trials. There is no scientific work, that summarize the decades-long results of this cultivar. This study may contribute to the improvement of growing technology of selected black locust cultivars as a stopgap publication.

*Keywords:* selected black locust cultivars, stand structure, growing technology

Levelező szerző/Correspondence:

Keserű Zsolt, 4150 Püspökladány, Farkassziget 3., e-mail: keseru.zsolt@uni-sopron.hu



## BEVEZETÉS

A fehér akác (*Robinia pseudoacacia* Linnaeus, 1753) taxonómiai besorolás szerint a pillangósok (*Fabaceae*) családjába, *Robinia* nemzetségbe tartozik (ITIS 2021). Ez az Észak-Amerikából származó fafaj a XVIII. század elején került Magyarországra, ahol gyors növekedése, plasztikus termőhely-tűrése, kemény, tartós fája, valamint sokoldalú hasznosíthatósága (pl. energetika, méhészet, ipar, talajvédelem) miatt igen gyorsan terjedt el. Marginális termőhelyeken is megél, de a jó termőképességű, megfelelő vízháztartású, laza talajokon növekszik legjobban (Vadas 1911, Keresztesi 1965, 1984, Nicolescu et al. 2018, Rédei 2020). Napjainkban a hazai erdőterületek megközelítőleg 24%-án fordul elő (Országos Erdőállomány Adattár 2020). Itt azonban meg kell említenünk, hogy a hazai akácok közel egyharmadán, nagyobbrészt őshonos fafajokkal történő fafajcserés felújítás lenne szükséges (Rédei 2006, 2020).

Az akác – egyedenként változó mértékben – rendelkezhet olyan tulajdonságokkal, mint például törzsgörbeség, villásság, alacsony iparifa-kihozatal, fagyérzékenység, amelyek termesztési szempontból hátrányt jelentenek. Ezen tulajdonságok javítására, valamint gyors növekedésű, relatíve szárazságtűrő akácfajták létrehozására, a virágzás időtartamának elnyújtására és a virág nektártartalmának fokozására kutatások indultak az 1960-as években. Ennek a kutatómunkának eredményeként számos akácfajtát, -fajtajelöltet szelektáltak. Ezek közül az 'Üllői', a 'Jászkiséri' és a 'Nyírségi' fajták termesztési kísérleteinek részletesebb értékelésére kerülhetett sor (Kopeckzy 1965, Keresztesi 1984, Rédei 2006, 2008, Rédei et al. 2017, Ábri et al., 2021).

Az államilag elismert fajták döntő többsége fenotípus alapján kiválasztott 2–20 törzsfaj klónkeveréke. A klónok többsége zöld- vagy gyökérdugványról jól szaporítható. Oltásuk is viszonylag könnyen megoldható. Ugyanakkor szaporítóanyaguk magas előállítási költsége, valamint a megfelelő referencia-erdősítések hiánya miatt az elmúlt évtizedekben drasztikusan lecsökkent az akácfajták termesztésbe vonásának mértéke, pedig a termesztési kísérletek alapján az átlagfa-térfogati értékek általánosságban közel megegyezők, a faállomány-minőségre utaló mutatószámok viszont a termesztési kísérletek többségében 8-15%-os többletet jeleznek a szelektált fajták javára. Meg kell említeni, hogy a szelektált akácfajták termesztésével csak kiváló és jó ökológiai, termőhelyi viszonyok mellett érdemes foglalkozni. Gyengébb akáctermőhelyeken a gazdálkodás az esetek döntő többségében nem rentábilis, mert az ültetvényszerű termesztéstechnológia előnyei nem érvényesíthetők (Rédei 2006, 2008, 2020).

A szelektált akácfajtáknak az alábbi alkalmazási helyeken – döntően a fatermesztés minőségi fokozását elősegítően – lehet fontos szerepe:

- kommersz akácok telepítésénél meghatározott (30-35%-os) elegyként,
- tág hálózatú (min. 2,5 × 2,0 m), rövid vágásfordulójú (15-18 év) iparifa ültetvények létesítésénél,
- a minőségi szaporítóanyag előállítását szolgáló magtermelő állományok létesítésénél.

A fentebb leírtakkal párhuzamosan fokozódó nemzetközi érdeklődés bontakozott ki a magyar akáctermesztés fejlesztését elősegítő K+F+I eredmények, illetve gyakorlati tapasztalatok iránt. Számos ország küldte el és küldi kutatóit, illetve gyakorlati szakembereit Magyarországra az akác termesztési technológiájának tanulmányozása céljából. Tanulmányok, tudományos cikkek sokasága jelent meg külföldön (Keresztesi 1983, 1988, Rédei et al. 2001, 2002, Lee et al. 2007, Rédei et al. 2017), és az 1980-as évek végén – 1990-es évek elején megindult néhány magyar akácfajta szaporítóanyagának exportja is.

A 'Nyírségi' akác bemutatása előtt érdemes megemlíteni, hogy Magyarországon kívül a világ számos országában (USA, Németország, Lengyelország, Görögország, Bulgária, India, Kína, Dél-Korea) zajlanak akáccal kapcsolatos kutatások, értek el sikereket az akáctermesztés területén (Davis & Keathley 1992, Chang et al. 1998, DeGomez & Wagner 2001, Swamy et al. 2002, Liesebach et al. 2004, Lee et al. 2007, Zhang et al., 2007, Dini-Papanastasi 2008, Dini-Papanastasi et al. 2012, Lu et al. 2015, Wojda et al. 2015, Han et al. 2019, Stankova et al. 2020, Yang et al. 2020, Kim et al. 2021, Kraszkievicz 2021).

Jelen tanulmány célja a 'Nyírségi' akác termesztési kísérleteinek összefoglaló értékelése, a fajtáról gyűjtött ismeretanyag összegzése: 21 'Nyírségi' akác állomány dendrometriai jellemzőinek ismeretése, továbbá egy esettanulmány prezentálása.

## A 'NYÍRSÉGI' AKÁC ISMERTETÉSE

A 'Nyírségi' akác fatermesztési célú, fűrészrönk termelésére alkalmas fajta, mely Keresztesi Béla, Fuisz József és Szabó Eszter szelekciós nemesítői munkájának az eredménye. Eredetileg 6, Nyírbátor község közelében, rozsdabarna erdőtalajon álló akácospól kiválasztott törzsfá klónkeveréke (1., 2., 35., 36., 37. és 38. sz. törzsfák). Később a fajtafenntartó az eredeti komponensszámot három klónra redukálta. 1973 óta államilag elismert fajta. Jelenleg a Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet a fajta fenntartója (Keresztesi 1984, Rédei 2006, NÉBIH 2020).

A 'Nyírségi' akác morfológiai leírása: törzse egyenes, a koronán át végig futó. Kérge kissé érdes a kiemelkedő, alig elütő színű és szórtállású paraszemölcsöktől, színe barna, zölde és világosbarna hosszanti csíkokkal, kevés, de jól látható haránterezettel. Ágai egyenesek a törzssel hegyes szöget zárnak be. Koronája igen erőteljesen fejlett. Levelei jellemzően szórt állásúak. A levélké alakja összenyomott ellipszis, csúcsuk tompa, kicsípelt, átlagos hosszuk 4,9 cm, szélességük 2,5 cm. Lombozata dús. Tövisei nagyok, átlagos hosszuk 1,3 cm, színük pirosasbarna. Virágzata fehér, rövid fűrtű. Egy fűrtben átlagosan 16 virág található. Változó mennyiségű virágot hoz, magkötése igen gyenge. Virágzási ideje rövid (8-12 nap), nektárjának cukorértéke a közönséges akáccal azonos (Keresztesi 1984, Osváth-Bujtás & Rédei 2007).

A 'Nyírségi' akác iparifa-kihozatala kedvező. Testsűrűsége 0,652 g/cm<sup>3</sup> (10 éves korban), hajlítószilárdsága és ütő-törő szilárdsága jó, sugár- és hűrirányú zsugorodási és dagadási tulajdonságai kiemelkedően kedvezőek (Rédei 2006).

A fajtakísérletek eredményeit a következőképpen lehet összefoglalni: az első, 1964-ben Gödöllőn létesített fajtakísérletben a 'Nyírségi' akác jó növekedést mutatott. Átlagfa-térfogata a 'Jászkiséri' és a 'Kiskunsági' fajták után a legnagyobb volt. 1970-ben létesített, szintén gödöllői fajtakísérletben, 35 éves korban vizsgált egyedek eredményei alapján igen jó törzsmínőséggel rendelkezik. Az üzemi termesztési kísérletekben viszont vegyes képet mutatott. Származási körzetében (Nyírség, Hajdúság) jól növekszik, de gyakran villás törzset növeszt. A Kisalföldön egyöntetűen jó alakú törzset nevel, de fatermése itt is csak közepes. Az alföldi meszes homokon gyenge növekedésű (Keresztesi 1984, 1988, Rédei 2008, Rédei et al. 2017).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

Jelen tanulmányban 21 különböző korú (5-35 éves) 'Nyírségi' akác kísérleti faállomány (10 erdőrészletben) faállomány-szerkezeti vizsgálatának eredményét értékeltük. Ezek Tét, Tahitótfalu, Gödöllő, Mikebuda, Helvécia, Szentkirály és Ófehértó települések közelében találhatóak (1. ábra). A kísérleti területek cseres–kocsánytalan tölgyes vagy erdőssztyepp klímában helyezkednek el, döntően többletvízhatástól független hidrológiai viszonyok mellett, humuszos homoktalajon, illetve rozsdabarna erdőtalajon, közép mély termőréteggel és homok alapkőzettel (erdőtervi adatok alapján) (1. táblázat). A törzsenkénti felvételek alapján az egészállomány átlagos magasságát ( $H$ ), mellmagassági átmérőjét ( $D_{1,3}$ ), átlagos körlapját ( $g$ ), átlagfa-térfogatát ( $v$ ), hektáronkénti körlapösszeget ( $G$ ), fatérfogatot ( $V$ ) és törzsszámot ( $N$ ) határoztuk meg, illetve számítottuk ki (Laar & Akça 2007, Avery & Burkhart 2015).

Az egyes fák átlagfa-térfogatának kiszámítása az alábbi képlettel történt (Sopp & Kolozs 2013):

$$v = 10^{-8} d^2 h^1 [h / (h - 1,3)]^4 (-0,6326 dh + 20,23 d + 3034), \quad (1)$$

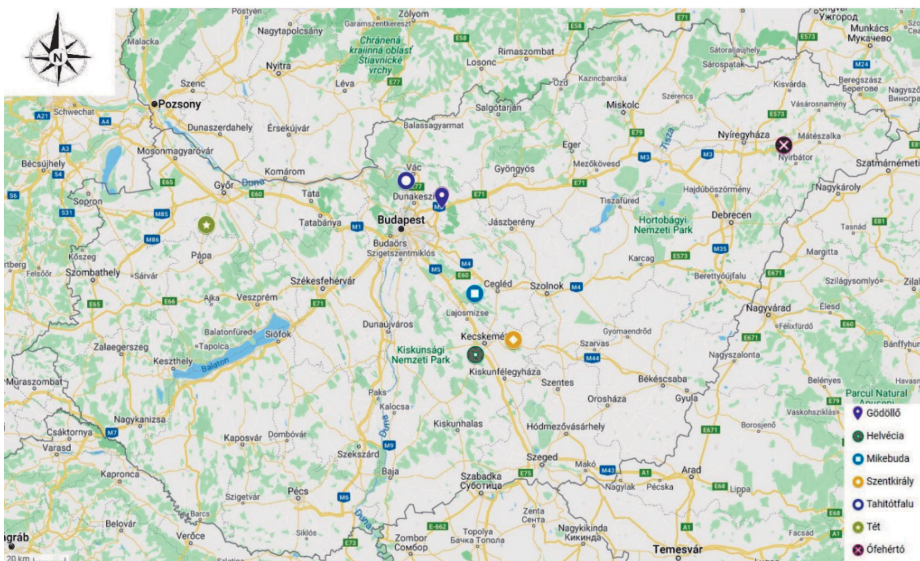
ahol:

$v$  = átlagfa-térfogat ( $m^3$ )

$h$  = magasság (m)

$d$  = mellmagassági átmérő (cm)

A hektáronkénti törzsszámot ( $N$ ) a kísérleti területen lévő törzsszám 1 hektárra történő felszorzásával kaptuk. A hektáronkénti fatérfogatot (összes fatermés) a  $V = v \times N$  képlettel számítottuk. A hektáronkénti körlapösszeget ( $G$ ) a hektáronkénti törzsszám és a faállomány átlagos átmérőjéből számított körlapja ( $g$ ) szorzata adta.



1. ábra: A vizsgálatba vont erdőrészletek elhelyezkedése

Figure 1.: Locations of the experimental subcompartments

1. táblázat: A 'Nyírségi' akác erdőrészeleteinek termőhelytípus-változata

Table 1.: Site type of 'Nyírségi' black locust stands' subcompartments

Erdőreszlet neve	Klíma	Hidrológia	Genetikai talajtípus	Termőréteg vastagsága	Fizikai talajféleség
Helvécia 80A	ESZTY	TVFLEN	HH	SE	H
Mikebuda 12H	ESZTY	TVFLEN	HH	KMÉ	H
Gödöllő, Arborétum	KTT	TVFLEN	RBE	MÉ	H
Szentkirály 40 F/1	ESZTY	TVFLEN	HH	KMÉ	H
Szentkirály 40 F/2	ESZTY	TVFLEN	HH	KMÉ	H
Tahitótfalu	KTT	IDŐSZ	RBE	KMÉ	HV
Ófehértó 13F	KTT	TVFLEN	HH	KMÉ	H
Szentkirály 47H/1	ESZTY	TVFLEN	HH	KMÉ	H
Szentkirály 47H/2	ESZTY	TVFLEN	HH	KMÉ	H
Tét 16K – III/4	KTT	TVFLEN	ABE	SE	H
Tét 16K – II/5	KTT	TVFLEN	ABE	SE	H
Tét 16K – IV/5	KTT	TVFLEN	ABE	SE	H
Helvécia 67B (147)	ESZTY	TVFLEN	HH	KMÉ	H
Gödöllő 5G/1	KTT	TVFLEN	RBE	KMÉ	HV
Gödöllő 5G/2	KTT	TVFLEN	RBE	KMÉ	HV
Gödöllő 5G/3	KTT	TVFLEN	RBE	KMÉ	HV
Gödöllő 5G/4	KTT	TVFLEN	RBE	KMÉ	HV

## EREDMÉNYEK

A kísérleti területek faállományainak legfontosabb dendrometriai jellemzőit (H,  $D_{1,3}$ , G, V, N, v) és az állományok fatermési osztályát a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A faállomány-szerkezeti tényezők közül a termesztési technológia szempontjából fontosnak tartott kor (év) és magasság (H, m), átmérő ( $D_{1,3}$ , cm) és hektáronkénti törzsszám (N, tő/ha), átlagos átlagfa-térfogat (v,  $dm^3$ ) és átmérő ( $D_{1,3}$ , cm), továbbá az egyes fák esetében az átlagfa-térfogat (v,  $m^3$ /fa) és mellmagassági átmérő ( $d_{1,3}$ , cm), valamint átlagfa-térfogat (v,  $m^3$ ) és mellmagassági körlap (g,  $m^2$ ) közötti összefüggéseket vizsgáltuk.



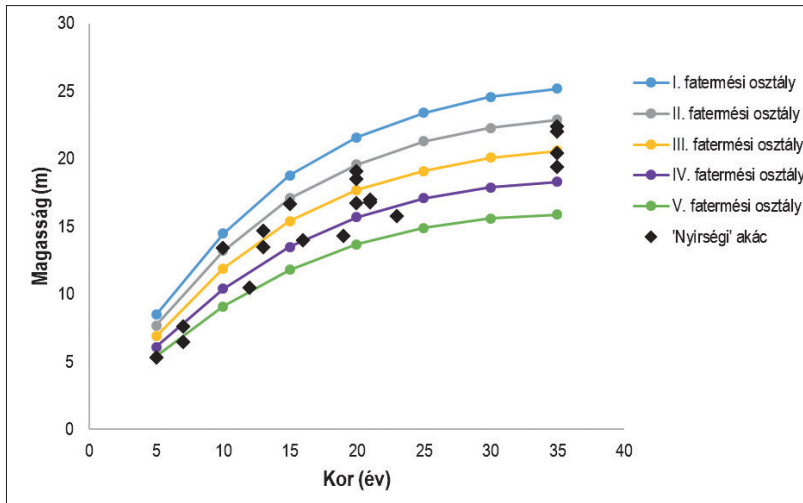
2. táblázat: A 'Nyírségi' akác állományok fontosabb dendrometriai jellemzői (Keresztesi 1988, Rédei 1994, 2006, 2008, Hegede 2018)

Table 2.: Key stand characteristics of the 'Nyírségi' black locust stands (Keresztesi 1988, Rédei 1994, 2006, 2008, Hegede 2018)

Erdőrészlet neve	Kor	H	D <sub>1,3</sub>	D <sub>1,3</sub> /H*100	V	N	G	v	Fatermési osztály (Rédei et al. 2021)
	(év)	(m)	(cm)	(%)	(m <sup>3</sup> /ha)	(tő/ha)	(m <sup>2</sup> /ha)	(dm <sup>3</sup> )	
Helvécia 80A	5	5,3	4,2	79,25	43,50	6667	9,24	6,52	V.
Helvécia 80A	7	7,6	5,1	67,11	70,80	5396	11,02	13,12	IV.
Mikebuda 12H	7	6,5	5,6	86,15	32,90	2103	5,13	15,60	V.
Gödöllő, Arborétum	10	13,4	9,3	69,40	95,43	2018	13,71	47,28	II.
Mikebuda 12H	12	10,5	8,9	84,76	90,00	2023	12,50	44,50	IV.
Szentkirály 40 F/1	13	14,7	10,9	74,41	155,45	1960	18,40	79,31	III.
Szentkirály 40 F/2	13	13,5	10,8	80,17	124,70	1700	15,50	73,35	III.
Gödöllő, Arborétum	15	16,7	12,1	72,46	151,34	1579	18,16	95,83	II.
Tahitótfalu (ERTI)	16	14,0	12,1	86,43	145,10	1540	17,60	94,22	IV.
Ófehértó 13F	19	14,3	13,4	93,71	131,80	1120	15,90	117,68	IV.
Gödöllő, Arborétum	20	19,1	15,0	78,53	188,73	1101	19,46	171,38	II.
Szentkirály 47H/1	20	18,5	16,2	87,80	219,22	1080	22,37	202,98	III.
Szentkirály 47H/2	20	16,7	16,1	96,08	178,92	960	19,50	186,38	IV.
Tét 16K - III/4	21	17,0	14,7	86,47	172,00	1091	18,52	157,65	III.
Tét 16K - II/5	21	17,0	15,1	88,82	187,10	1127	20,18	166,02	III.
Tét 16K - IV/5	21	16,8	15,8	94,05	207,70	1145	22,45	181,40	III.
Helvécia 67B	23	15,8	15,7	99,37	255,40	1300	25,17	196,46	IV.
Gödöllő 5G/1	35	22,0	21,6	98,18	199,80	448	17,90	445,98	II.
Gödöllő 5G/2	35	19,4	20,6	106,19	229,80	674	22,50	340,95	IV.
Gödöllő 5G/3	35	22,4	23,4	104,46	335,40	690	29,60	486,09	II.
Gödöllő 5G/4	35	20,4	22,0	107,84	218,90	546	20,70	400,92	III.

A vizsgálatba vont erdőrészek faállományainak szerkezeti tényezői közötti összefüggések vizsgálata tájékoztató jelleggel szemléltetik a különböző termőhelyeken tenyésző 'Nyírségi' akácok fontosabb növekedési jellemzőinek alakulását, s így módon a mérvadó szakirodalmat tekintve hézagpótlónak tekinthetők.

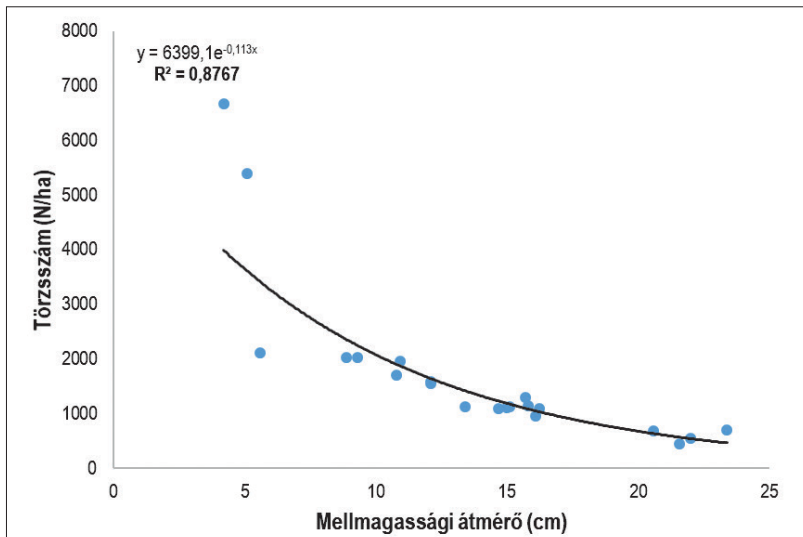
A 2. ábrán az 5 és 35 év közötti faállományok átlagos magasságának szóródása látható a kor függvényében a szelektált akácfaajtákra kidolgozott fatermési tábla (Rédei et al. 2021) fatermési osztályainak görbehalmazában. Megállapítható, hogy a vizsgált 'Nyírségi' akácok nagy része a II. és IV. fatermési osztály között helyezkednek el, ami azt jelenti, hogy számára kedvező termőhelyeken viszonylag magas, illetve közepes fatermést érhet el.



2. ábra: A kísérleti faállományok megoszlása a szelektált akácfaajtákra kidolgozott fatermési tábla magassági görbéin

Figure 2.: Distribution of experimental stands in the height curves of selected black locust yield table

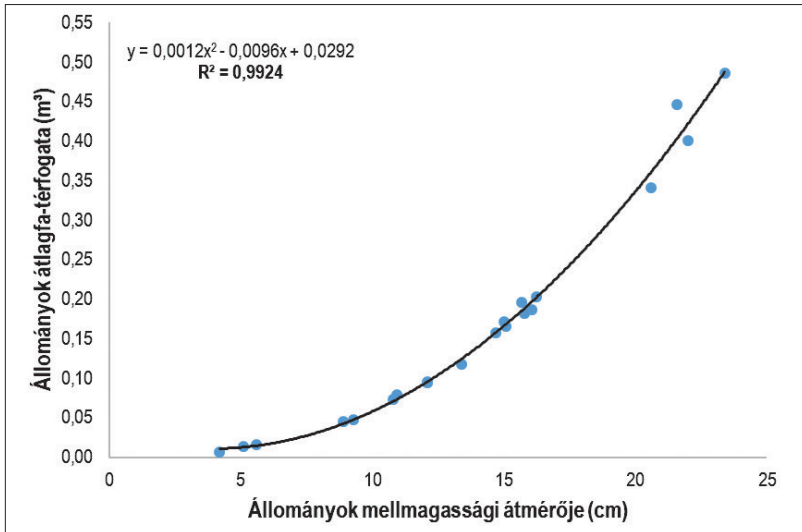
A 3. ábrán közölt, a 21 vizsgált 'Nyírségi' akác faállomány hektáronkénti törzsszám és mellmagassági átmérő összefüggése ( $R^2 = 0,8767$ ) lehetőséget ad az adott célátmérő függvényében a szükségesnek tartott növőtér meghatározására. Ez különösen fontos az akác esetében, ahol 13-15 éves kor felett már a vastagsági növekedés maximalizálása a legfőbb termesztési célkitűzés (Rédei 2020).



3. ábra: A törzsszám (N) és a mellmagassági átmérő ( $D_{1,3}$ ) összefüggése (21 'Nyírségi' akác állomány vizsgálati eredményei alapján)

Figure 3.: Relationship of stem numbers (N) to diameter at breast height (DBH) based on measurements of 21 'Nyírségi' black locust stands)

A 4. ábra a 'Nyírségi' akácok átlagfa-térfogatának és mellmagassági átmérőinek összefüggését mutatja (lásd még az 2. táblázatot). Látható, hogy igen szoros összefüggés van ( $R^2 = 0,9924$ ) a két vizsgált paraméter között.

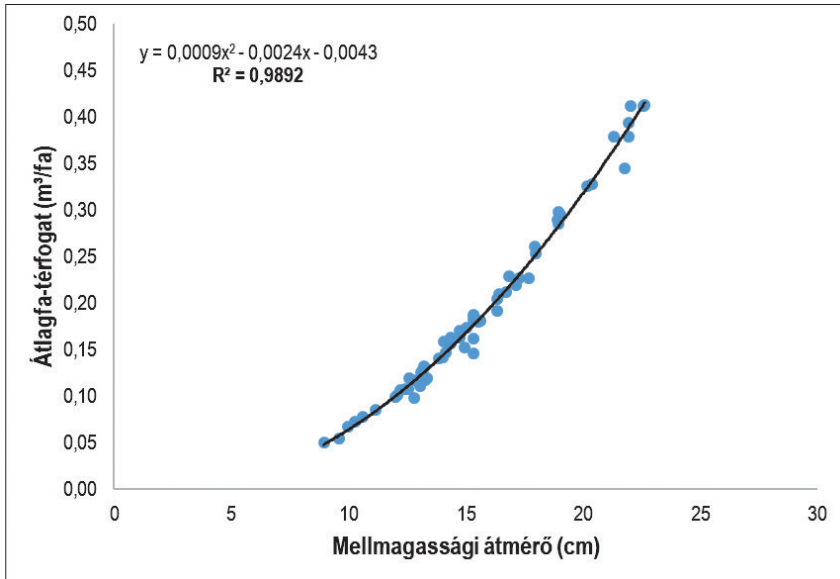


4. ábra: Az átlagos átlagfa-térfogat ( $v$ ) és mellmagassági átmérő ( $D_{1,3}$ ) értékek közötti összefüggés (21 'Nyírségi' akác állomány vizsgálati eredményei alapján)

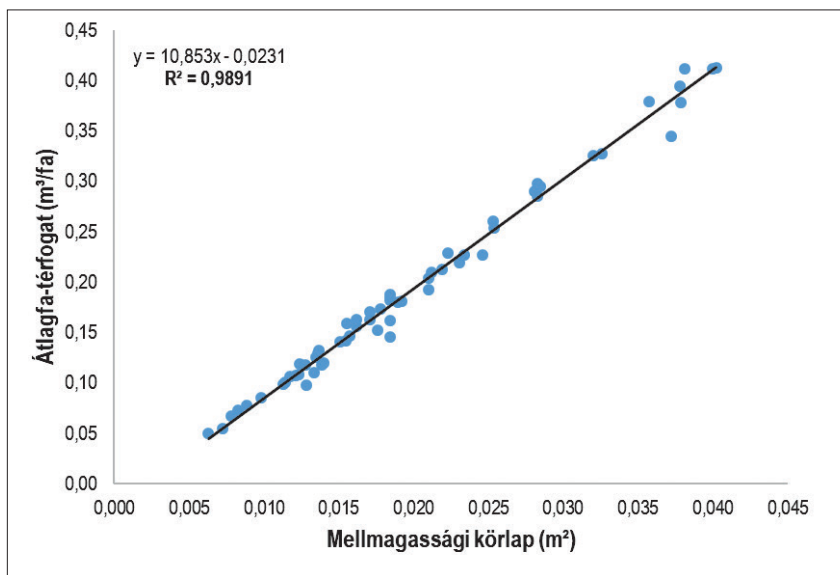
Figure 4.: Curvilinear relationship of mean tree volume ( $v$ ) to diameter at breast height (DBH) (based on measurements of 21 'Nyírségi' black locust stands)

Az egyetlen változóra, a mellmagassági átmérőre épülő fatérfogat-függvényeket vagy a vonatkozó fatérfogat táblázatokból vehetjük ki vagy az e célból kijelölt és kivágott fák szakaszos köbözésével határozhatjuk meg. Az ilyen függvények különösen hasznosak a gyors fakészlet-becslések végrehajtásához.

A 5-1. és a 5-2. ábra az átlagfa-térfogat ( $v$ ) és a mellmagassági átmérő ( $d_{1,3}$ ) ( $R^2 = 0,9892$ ), valamint az átlagfa-térfogat ( $v$ ) és a mellmagassági körlap ( $g$ ) ( $R^2 = 0,9891$ ) összefüggéseit mutatja be, 60 db 'Nyírségi' akác mérési eredményei alapján (Szentkirály 47 H/1 erdőrészlet).



5-1. ábra: Átlagfa-térfogat ( $v$ ) és mellmagassági átmérő ( $d_{1,3}$ ) értékek közötti összefüggés (Szentkirály 47 H/1 erdőrészletben található 20 éves 'Nyírségi' akácfák vizsgálata alapján)  
 Figure 5-1.: Curvilinear relationship of mean tree volume to diameter at breast height (dbh) (based on measurements of 20 years old 'Nyírségi' black locust trees in Szentkirály 47 H/1)



5-2. ábra: Átlagfa-térfogat ( $v$ ) és mellmagassági körlap ( $g$ ) értékek közötti összefüggés (Szentkirály 47 H/1 erdőrészletben található 20 éves 'Nyírségi' akácfák vizsgálata alapján)  
 Figure 5-2.: Linear relationship of mean tree volume ( $v$ ) to basal area ( $g$ ) (based on measurements of 20 years old 'Nyírségi' black locust trees in Szentkirály 47 H/1)



## ÖSSZEFOGLALÁS

A szelektált akácfajtákkal – így a 'Nyírségi' akáccsal – létesített faültetvények véghasználati kora  $2,5 \times 2,0$  m-es ültetési hálózatban 30, a  $3 \times 3$  m-es, azaz  $9 \text{ m}^2$ -es növőterben 20-25 éves korra prognosztizálható. Az eddigi kutatási eredményekből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy kedvező adottságú termőhelyen álló állományok a fenti kor-intervallumban elérhetik a 20-22 m-es magasságot, valamint a 20-23 cm-es átlagos mellmagassági átmérőt. A véghasználat-kori hektáronkénti törzsszám 450-500 db körül alakulhat (Rédei 2008).

A jelen tanulmányban közölt vizsgálati eredmények kellően bizonyítják a szelektált akácfajtákkal, így a 'Nyírségi' akáccal történő termesztés létjogosultságát is, azzal a kitételrel, hogy ezen akácfajták termesztése csak jó minőségű termőhelyeken rentábilis. Ugyanakkor itt kell megjegyeznünk, hogy a fajták ültetési anyagának (gyökeres dugvány) vegetatív úton történő előállítására jelenleg igen költséges, és kvalifikált munkaerőt igényel. Emiatt termesztésbe vonásuk mértéke még mindig nagyon alacsony. E téren előrelépésre csak a szaporítási technológiák hatékonyabbá tétele, valamint az erdősítési finanszírozási rendszer jobbitása esetén van lehetőség.

A jövőt illetően a szelektált akácfajtáknak növekvő szerepe lehet a kommersz akácosokban elegyként (30-35%) történő alkalmazásuknál, valamint a tág hálózatú, rövid vágásfordulójú, minőségi faanyag előállítását célul kitűző akác iparifa-ültetvények létesítésénél.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen publikáció a „TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú ErdőLab” projekt 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.

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium) Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Ábri T., Keserű Zs., Rásó J. & Rédei K. 2021: Stand structure and growth of *Robinia pseudoacacia* 'Jásziskéri' – 'Jásziskéri' black locust. *Journal of Forest Science* 67: 489-497. <https://doi.org/10.17221/57/2021-JFS>
- Avery T. E., & Burkhart, H. E. 2015: *Forest measurements*. Waveland Press.
- Chang C. S., Bongarten B. & Hamrick J. 1998: Genetic structure of natural populations of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) at Coweeta, North Carolina. *Journal of Plant Research* 111(1): 17-24. <https://doi.org/10.1007/BF02507146>
- Davis J. M. & Keathley D. E. 1992: Micropropagation of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *High-Tech and Micropropagation II*, 25-39.
- DeGomez T. & Wagner M. R. 2001: Culture and use of black locust. *HortTechnology* 11(2): 279-288. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.11.2.279>
- Dini-Papanastasi O. 2008: Effects of clonal selection on biomass production and quality in *Robinia pseudoacacia* var. monophylla Carr. *Forest Ecology and Management* 256(4): 849-854. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.049>

- Dini-Papanastasi O., Kostopoulou P. & Radoglou K. 2012: Effects of seed origin, growing medium and mini-plug density on early growth and quality of black locust (*Robinia pseudoacacia* [L.] seedlings. *Journal of Forest Science* 58(1): 8-20. <https://doi.org/10.17221/46/2011-JFS>
- Han C., Xun S., Zhang Y., Qiao Y., Dong Y., Zhong W. & et al. 2019: A new cultivar of *Robinia pseudoacacia*, 'Lüman Qingshan'. *Acta Horticulturae Sinica* 46(7): 1425-1426. <https://doi.org/10.16420/j.issn.0513-353x.2018-0460>
- Hegede I. 2018: Akác fajtaösszehasonlító vizsgálatok kiértékelése a NÉBIH Helvéciai Fajtakísérleti Állomás területén. Diplomadolgozat. Soproni Egyetem, Sopron.
- Integrated Taxonomy Information System (ITIS): Letöltve: 2021.10.06. [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=504804#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=504804#null)
- Keresztesi B. (ed.) 1965: Akáctermesztés Magyarországon. Akadémia Kiadó, Budapest.
- 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)
- Keresztesi B. (ed.) 1984: Az akác. Akadémia Kiadó, Budapest.
- Keresztesi B. (ed.) 1988: The Black Locust. Akadémia Kiadó, Budapest.
- Kim Y. K., Kim M. S., Nam J. I., Song J. H. & Kim, S. H. 2021: Analysis on floral nectar characteristics among the selected black locust (*Robinia* spp.) individuals. *Journal of Apicultural Research*, 1-9. <https://doi.org/10.1080/0218839.2021.1891743>
- Kopeczky F. 1965: Az akác nemesítése. In: Keresztesi B. (ed.) Akáctermesztés Magyarországon, Akadémiai Kiadó, Budapest. 121-156.
- Kraszkiewicz, A. 2021: Productivity of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Grown on a Varying Habitats in Southeastern Poland. *Forests* 12(4): 470. <https://doi.org/10.3390/f12040470>
- Laar A. & Akça A. 2007: Forest Mensuration. City, Springer
- Lee K. J., Sohn J. H., Rédei K. & Yun H. Y. 2007: Selection of early and late flowering *Robinia pseudoacacia* from domesticated and introduced cultivars in Korea and prediction of flowering period by accumulated temperature. *Journal of Korean Society of Forest Science* 96(2): 170-177.
- Liesebach H., Yang M. S. & Schneck V. 2004: Genetic diversity and differentiation in a black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) progeny test. *Forest Genetics* 11(2): 151-161.
- Lu N., Dai L., Wu B., Zhang Y., Luo Z. & et al. 2015: A preliminary study on the crossability in *Robinia pseudoacacia* L. *Euphytica* 206(3): 555-566. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1458-4>
- Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) 2020: Nemzeti fajtajegyzék 2020. Letöltve: 2021.04.13. <https://portal.nebih.gov.hu/-/nemzeti-fajtajegyzek>
- Niculescu V. N., Hernea C., Bakti B., Keserű Z., Antal B. & Rédei, K. 2018: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) as a multi-purpose tree species in Hungary and Romania: a review. *Journal of Forestry Research* 29(6): 1449-1463. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0626-5>
- Országos Erdőállomány Adattár 2020. (Nemzeti Földügyi Központ, Erdészeti Főosztály): Letöltve: 2021.10.12. [https://nfk.gov.hu/Magyarország\\_erdeivel\\_kapcsolatos\\_adatok\\_news\\_513](https://nfk.gov.hu/Magyarország_erdeivel_kapcsolatos_adatok_news_513)
- Osváth-Bujtás Z. & Rédei K. 2007: Akác fajtaismertető. Agroinform Kiadó, Budapest.
- Rédei K. 1994: Szelektált akác fajták termesztési kísérleteinek értékelése. *Erdészeti Lapok* CXXIX. 12: 358-360.
- Rédei K. 2006: Az akác termesztés-fejlesztésének biológiai alapjai és gyakorlata. Agroinform Kiadó, Budapest.
- Rédei K. 2008: Szelektált akác fajták termesztés-technológiája. Erdészeti Tudományos Intézet, Budapest.
- Rédei K. 2020: Bevezetés az ültetvényeszerű fatermesztés gyakorlatába. Agroinform Kiadó, Budapest.
- Rédei K., Ostváth-Bujtás Z. & Balla I. 2001: Propagation methods for black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) improvement in Hungary. *Journal of Forestry Research* 12: 215-219. <https://doi.org/10.1007/BF02856710>
- Rédei K., Ostváth-Bujtás Z. & Balla I. 2002: Clonal approaches to growing black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary: a review. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 75(5): 547-552. <https://doi.org/10.1093/forestry/75.5.547>
- Rédei K., Csiha I., Rásó J. & Keserű Zs. 2017: Selection of promising black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) cultivars in Hungary. *Journal of Forest Science* 63 (8): 339-343. <https://doi.org/10.17221/23/2017-JFS>
- Rédei, K. Ábri T., Szabó F. & Keserű Zs. 2021: Yield table for selected black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) cultivars. *Acta Agraria Debreceniensis* (1): 193-198. <https://doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/1/8854>



- Sopp L. & Kolozs L. (eds.) 2013: *Fatömegszámítási táblázatok* (4. kiadás). NÉBIH, Erdészeti Igazgatóság, Budapest.
- Stankova T., Gyuleva V., Kalmukov K., Popov E., Pérez-Cruzado C., Glushkova M. & et al. 2020: Effect of spacing, parental genotype and harvesting cycle on biomass production in two half-sib progenies of *Robinia pseudoacacia* L. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 93(4): 505-518. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz039>
- Swamy S. L., Puri S. & Kanwar K. 2002: Propagation of *Robinia pseudoacacia* Linn. and *Grewiaoptiva* Drummond from rooted stem cuttings. *Agroforestry Systems* 55(3): 231-237. <https://doi.org/10.1023/A:1020579516144>
- Vadas J. 1911: *Az ákácfa monográfiája*. Budapest.
- Wojda T., Klisz M., Jastrzebowski S., Mionskowski M., Szym-Borowska I. & Szczygiel K. 2015. The geographical distribution of the black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Poland and its role on non-forest land. *Papers on Global Change* 22. <https://doi.org/10.1515/igbp-2015-0018>
- Yang X., Zhang K., Wang J., Jia H., Ma L., Li Y. & et al. 2020: Assessment of genetic diversity and chemical composition among seven black locust populations from Northern China. *Biochemical Systematics and Ecology* 90: 104010. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2020.104010>
- Zhang J., Liu Y. & Wang H. 2007: Micropropagation of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits* 193-199. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6352-7\\_18](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6352-7_18)

*Érkezett: 2022. március 10.*

*Közlésre elfogadva: 2022. július 19.*



# SZABAD VÍZ MEGJELENÉSE A TALAJBAN KÜLÖNBÖZŐ FAÁLLOMÁNYOK ALATT A SZENT ANNA-TÓ KRÁTERÉNEK BELSŐ LEJTŐIN

Szmolka Péter<sup>1</sup> és Frank Norbert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kézdivásárhelyi Magánerdészet

<sup>2</sup>Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar

## Kivonat

Az utóbbi évtizedek során jelentős romlás következett be a Szent Anna-tó, Románia egyetlen krátertava, batimetriai jellemzőiben és vízminőségében. A tó vízméregének tekintetében nem tisztázott a kráternek, mint a tó vízgyűjtő területének a szerepe. A talajfelszín alatti hozzáfolyás, mint a tavat tápláló vízmérleg komponens létezése nyitott kérdés. A felszín alatti hozzáfolyás feltétele a talajban megjelenő szabad víz. A kutatás a kráter talajában a szabad víz megjelenésének és előfordulási gyakoriságának a kérdéskörét vizsgálja a krátert borító különböző fajfaj-összetelű és korszerkezetű állományok alatt.

A kutatási eredmények azt bizonyítják, hogy a szabad víz megjelenik a talajban és a kráter belső lejtőit borító középkorú és idős egykorú bükkösök, középkorú lucosok és vegyeskorú bükk-fenyő elegyek hatással vannak a megjelenési gyakoriságára. Az idős, egykorú bükkösök borította talaj esetében a szabadvíz jelentősen kevesebbszer jelenik meg, mint középkorú bükkös és a vegyeskorú állományok alatt.

*Kulcsszavak:* Szent Anna-tó, talajnedvesség, szabad víz, korszerkezet, fajösszetétel

## OCCURRENCES OF FREE WATER IN THE SOIL UNDER DIFFERENT FOREST STANDS ON THE SLOPES OF THE LAKE SFÂNTA ANA CRATER

### Abstract

Significant changes were recorded in the bathymetric and water-quality parameters of the Lake Sfânta Ana, a crater lake in Romania, during the past decades. The role of the crater, as the catchment area of the lake needs to be clarified. The existence of the subsurface inflow, as a feeding component in the hydrological budget of the lake, is an open question. The occurrence of free, gravitational water in the soil of the crater is a fundamental condition of the subsurface inflow. The study is focusing on the questions related to the occurrence and frequency of free water in the soil under forest stands of different species composition and age structure.

The results show that free water does occur in the soil, and the different forest structures, consisting of middle aged and old European beech stands, middle-aged Norway spruce stands and mixed aged European beech with Northern spruce and Silver fir stands, have an influence on the frequency of the occurrence. Free water occurrence in the soil is significantly lower in old even aged European beech stands than in the middle aged beech and mixed aged stands.

*Keywords:* Lake Sfânta Ana, soil moisture content, gravitational water, age structure, composition



## BEVEZETÉS

A Szent Anna-tó természetvédelmi jelentősége mellett Románia egyik legismertebb turisztikai látványossága; Natura 2000 terület, nemzeti jelentőségű természetvédelmi terület. A tó legnagyobb mélysége 1909-ben 8,3 m (Gelei 1909), 2000-ben 4,85 m (Pál 2001), 2018-ban Mihály 7,2 méteres mélységet mért (Mihály 2018). A csökkenés részben a tó vízszint-csökkenésének, részben a feltöltődési folyamatnak a következménye. A tóban lezajló feltöltődési folyamatok (szedimentáció és eutrofizáció) mutatója  $2,4 \pm 0,4$  cm/év átlagértékű lineáris szedimentációs rátával jellemezhető (Begy et al. 2011). A tó vízminősége is jelentősen megváltozott az utóbbi évtized során, a korábban kristálytiszta vizű oligotróf tó a foszfortartalom és átlátszóság (Secchi mélység) alapján mezotróf, az algasűrűség (az a-klorofill tartalom) alapján pedig eutróf kategóriába sorolható (Máthé et al. 2018).

A krátertó vizét a felszínére hulló csapadék és a kráter belső lejtőiről lefolyó (intenzív csapadékesemények alkalmával megjelenő) felszíni folyás, valamint feltételezhető felszín alatti hozzáfolyás, beszivárgás táplálja. Állandó felszíni vízfolyásokkal nem rendelkezik.

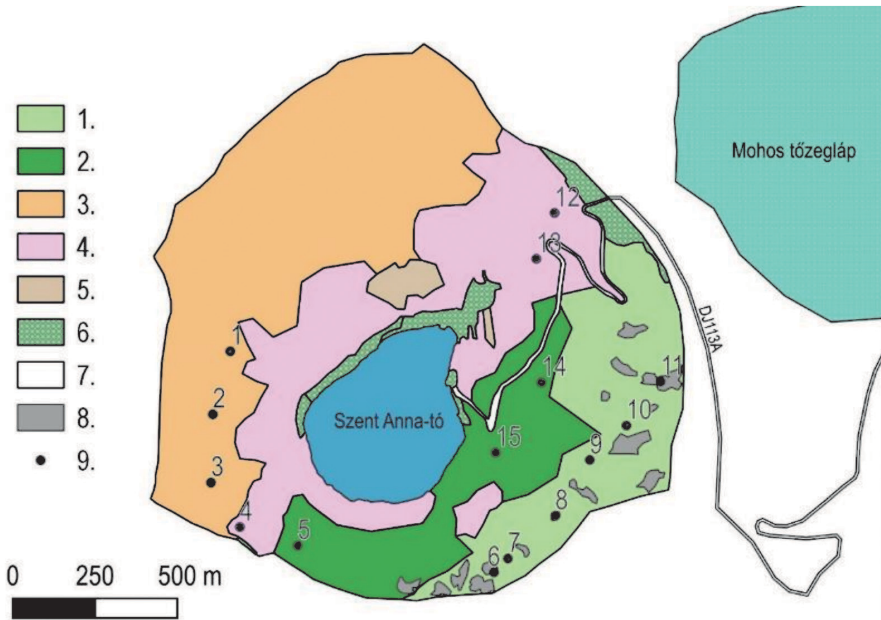
A vizsgált terület (1. ábra) fiziko-geográfiai szempontból a Kárpátok-Transzilván egység, Keleti Kárpátok Központi Csoportja, Kelemen-Görgény-Hargita vulkanikus vonulatának részét képező, a Hargita hegység legdélebbi alkotóelemének a Csomád vulkáni kúpnak (Dimitrie et al. 1987) a belső kráterlejtőjét alkotja. A Csomád vulkánt magas káliumtartalmú dacitok építik fel. A Mohos és a Szent Anna krátere két egymást követő robbanásos kitörés eredményeként jöttek létre. Az utolsó, Szent Anna-kráterhez rendelhető kitörés korát 29500 évesre datálják (Harangi et al. 2010).

A terület a mérsékelt kontinentális klímazónában a IV. hegyi klímaszektorban, a közép- és alacsony-hegységek részét képező Keleti Kárpátok vidékének hegyi erdő- és legelő klímakerületében helyezkedik el, a Keleti Kárpátok komplex topoklímáinak része (Badea et al. 1983). Hideg és nedves telek jellemzik, a leghidegebb hónap átlaghőmérséklete  $-4^{\circ}\text{C}$  alatt, a legmelegebb hónap esetében  $14^{\circ}\text{C}$  fölött van. Az éves átlaghőmérséklet  $5^{\circ}\text{C}$ , az éves csapadékösszeg 800 mm, a legcsapadékosabb hónapok a május és a június (Stoiculescu 1966).

A kráterbelső fő talajtípusa az Andosol a 2012-es Román Talajosztályozási Rendszer szerint (SRTS 2012), ami az Andosol talajtípusnak felel meg a WRB 2014 rendszerben, a talajszelvény az Au-AC-C szintekből (Au – A umbrikus humusz akkumulációs szint 0-20 cm, AC – átmeneti szint 20 és 30 cm között, C – alapkőzet). Az Au és A/C szintek homok, vályogos homok fizikai féleséggel jellemezhető, 5% körüli humusztartalommal, pH 4.1, Munsell-skála szerinti színe 10YR 2/1 az Au szintben, 10YR 3/4 az A/C szintben. A vázartalom meghaladja az 5%-ot az AU szintben, a homok aránya meghaladja a 85%-ot.

A tó vízgyűjtőjét a Csomád kráter (Szent Anna kráter) belső lejtője képezi (183,6 ha), amelyet változatos felszínborítás jellemez. A belső kráterfal 95,9%-ban erdővel borított, idős egykorú bükkösök (32,1 ha), vegyeskorú bükk – lucfenyő – jegenyefenyő elegyek (25,3 ha), középkorú lucfenyő (45,6 ha) és középkorú bükk – luc elegyek (73 ha) állományok alkotják.

A román erdőtipológiai rendszer szerinti osztályozást tekintve a terület jellemző fő természetes erdőtípusa az „Európai Bükk Oxalis-Dentaria-Asperula” flórával, amely a Natura2000 előhelyosztályozás szerint 91V0 Dák Bükkös erdők (Symphyto – Fagion) típusnak felel meg.



1. ábra: A Szent Anna-tó belső kráterlejtőjét képező kutatási terület (1. idős egykorú bükkös, 2. vegyeskorú bükk-fenyő elegy, 3. középkorú bükkös, 4. középkorú lucos, 5. fiatal bükk-fenyő elegy, 6. gyepek, 7. út, 8. lék idős bükkösben, 9. mintavételi hely)

Figure 1.: Study site: in the inner slope of the Lake Sfânta Ana crater (1. Old European beech stand, 2. Mixed aged European beech – Northern spruce – Silver fir stands, 3. middle aged European beech, 4. middle aged Northern spruce, 5. young European beech - Northern spruce mixed stand, 6. grass plot, 7. road, 8. small regeneration plot in old European beech stand, 9. sampling site.)

A tó vízszintjének megtartása érdekében a vízmérleg tápláló paramétereinek a kutatása időszzerű, ezek megismerése és javítása által adódhat lehetőség a nem kívánt folyamatok megállítására, megfordítására. Az éves csapadékmennyiségek alakítása nem lehetséges, ezért ennek a hatékonyabb felhasználása lehet a megoldás a felszín alatti hozzáfolyás mértékének a növelésével. A felszín alatti hozzáfolyás lehetősége az egyes állományok alatt a talajnedvesség dinamikájának a vizsgálata, a talajnedvesség szabadföldi vízkapacitást meghaladó értékeinek az előfordulása által igazolható vagy cáfolható.

A szabadföldi vízkapacitás az a vízmennyiség, amit a talaj beázás után, a gravitációval szemben, természetes környezetben vissza tud tartani. Szabad víz csak a kapilláris pórusok telítődése után jelenik meg a talajban. A kapilláris-gravitációs víz a 10-50  $\mu\text{m}$  átmérőjű durvább pórusokban jelenik meg, ahol a kapilláris szívóerő értéke kisebb, mint a gravitációs erő, így ezekben a víz lassan lefelé áramlik. A gravitációs víz az 50  $\mu\text{m}$ -nél nagyobb pórusokban gyorsan szívárog lefelé és vagy eléri a talajvizet és növeli annak mennyiségét, vagy a szárazabb altalaj visszatartja (Stefanovits et al. 2010). A szabad víz formái közül a kráter meredek lejtői esetében a kapilláris-gravitációs víz és a gravitációs víz megjelenése is feltételezhető.



A kutatás során a következő kérdésekre kerestük a választ:

- a Szent Anna-tó kráterének belső, a tó vízgyűjtő területét képező lejtőinek talajaiban a talajnedvesség meghaladja-e a szabadföldi vízkapacitás értékét, és megjelenik-e a szabad víz gravitációs formája?
- a gravitációs víz megjelenése, ennek gyakorisága azonos-e a különböző fajokból álló és szerkezetű erdőállományok alatt?

A kutatás során az egyes állományok esetében megjelenő eltérések irányadóak lehetnek olyan erdőművelési beavatkozások elvégzésére, amelyek által a felszín alatti hozzáfolyás mértéke növelhető, illetve csökkenthető.

A talaj nedvességtartalma és a talajt borító faállomány jellemzői közötti összefüggések több vizsgálatnak is tárgyát képezte. Michigani *Acer Saccharum* (Marshall, 1785) állományok vizsgálata során összefüggéseket mutattak ki a talaj nedvességtartalmának dinamikája és a levélfelületi index, valamint a záródás közt (Yuteng et al 2014).

Mexikói *Quercus hypoleucoides* (A. Camus 1932), *Quercus grisea* (Liebm. 1854) és *Pinus engelmannii* (Carriere 1854) elegyes állományokban végzett különböző intenzitású (közepes – 40%, erős – 80%, kontroll) gyéritések során a kis mennyiségű (<10mm) csapadékesemények esetében mutattak ki jelentős eltérést a napi talajnedvesség maximum és átlagértékeinek növekedésében, különösen az erős intenzitású gyéritéssel érintett területeken. Ugyanakkor a gyéritett mintaterületek esetében a nedvesség magasabb értékei hosszabb ideig fennálltak (Argelia et al. 2021).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatás során különböző fajösszetételű és korszerkezetű állományokban (idős bükkös, középkorú bükkös, középkorú luc, vegyeskorú bükk) és egy idős bükk állományban képzett lécekben végeztünk a szabad, gravitációs víz megjelenési gyakoriságára vonatkozó összehasonlító vizsgálatot. A vizsgálat elvégzéséhez minden kategóriában három mintaterület került kijelölésre és minden mintaterület esetében telepítettünk egy YL-69 típusú talajnedvesség szenzort a hozzá tartozó Arduino platformra épített adatrögzítővel, amelyek 10 perces időközönként rögzítették a talajnedvességet 50 centiméteres mélységben. Ez a mélység minden esetben a gyökérszóna alatt helyezkedett el, amelynek a vastagsága minden mintapont esetében 25 és 35 cm közötti volt. A kétágú villa alakú szenzorok elhelyezése a talajban ásott talajszelvény hegy felőli, nem bolygatott oldalába történő beszúrással történt, majd a gödör visszatemetése során az eredeti szinteknek megfelelően lett a kiásott anyag visszahelyezve, lehetőség szerint elkerülve a különböző talajszintekből származó talaj keveredését.

Az adatrögzítés a 2020. május 1. és 2021. december 31. közötti időszakban történt, az adatok elemzése és kiértékelése azonban csak a 2020. május 1. és 2021. augusztus 1. időszakra lett elvégezve, az ezutáni időszakban történt adatvesztések miatt, amit több adatrögzítő meghibásodása okozott.

Az YL-69 típusú talajnedvesség-szenzorok a rezisztivitás elvén működnek, ami a talajnak az elektromos árammal szembeni ellenállási képességét fejezi ki. A talajba irányított egyenáram feszültségese szorosan összefügg a talaj rezisztivitásával. A rezisztivitás csökken a talaj nedvességtartalmának növekedésével (Weng et al. 2018). A szenzorok nagyon pontos kalibrálása a helyszínről a szenzorok kiemelése során gyűjtött talajminták esetében nem volt lehetséges, mivel a magas

homoktartalom miatt gyakorlatilag lehetetlen volt bolygatatlan (nem széteső) mintát venni a szenzorok közvetlen közelében. A kalibrációt ezért a szabadföldi vízkapacitásnak megfelelő nedvességtartalom közelítő meghatározása által végeztük. A kalibrációhoz a talajnedvesség-szenzor kiemelésékor az ezt körülvevő talajból vett talajmintákat áteresztő aljú edénybe helyeztük, meghatároztuk a minta tömegét, tömörítettük, majd desztillált víz hozzáadásával nedvesítettük, addig amíg az edény alján a gravitációs víz megjelent. A gravitációs víz távozása után a mintákat szárítószekrényben 105°C-on súlyállandóságig szárítottuk. A gravitációs víz távozása után fennmaradt minta tömegéből a szárított minta tömegéhez viszonyítva a szabadföldi vízkapacitásnak megfelelő talajnedvességet (tömegszázalékban) meghatároztuk. Az ilyen módon meghatározott, a szabadföldi vízkapacitásnak megfelelő talajnedvességtartalom 27–35 m/m% között mozgott.

Az YL-69 talajnedvesség szenzor 0–1023 értékű analóg jelet bocsát ki. Az egyes szenzorok kalibrációja során elsőfokú (lineáris) függvény illesztését végeztük a talajnedvesség és a szenzorok által rögzített értékek közötti kapcsolat leírásához. A száraz talajmintának megfelelő rezisztivitás érték és a szenzorok adatsoraiból grafikusán meghatározott, a szabadföldi vízkapacitásnak megfelelő érték leolvasása után a kalibrálást a két értékpárra fektetett egyenes egyenleteként értelmeztük. Az adatrögzítők adataiból az egyes állományok alatt a talajnedvesség alakulása jól követhető, az esőzések alkalmával megjelenő szabadföldi vízkapacitást (amely a felszín alatti beszivárgás feltétele) meghaladó talajnedvességgel jellemezhető időszakok könnyen azonosíthatók. A szabad víz megjelenése a talajnedvesség görbén a csapadékos időszakokban a talajnedvesség értékének hirtelen növekedése és a csapadék megszűnését követő időszakban a gyors gravitációs beszivárgás következtében ennek meredek visszaesése alapján felismerhető. Csak a grafikusán jól kivehető, hegyes csúccsal jellemezhető, egyértelműen szabad vizet jelölő időpontok lettek azonosítva a megjelenési gyakoriságok elemzéséhez.

A csapadékmennyiség időbeni alakulása a Szent Anna-tónál elhelyezett Renkforce WH2315 típusú meteorológiai állomás adatainak felhasználásával történt. A billenőedényes csapadékmérővel felszerelt meteorológiai állomás adatai egy egyszerű, csapadékgyűjtő edénnyel ellátott pluviométerrel is ellenőrzésre és kiegészítésre kerültek a téli időszakban, amikor a fagypont alatti hőmérsékletek és a szilárd csapadékformák mérése a billenőedényes rendszerrel nem működhetett megfelelően.

A kijelölt mintaterületeken állományfelmérés történt, ennek során a különböző fajajösszetételű és szerkezetű állományokban 500 m<sup>2</sup> (középkorú) illetve 1000 m<sup>2</sup> (idős és vegyeskorú) kör alakú mintaterületen a fafaj, átmérő, magasság, Kraft osztály, ágtszta törzshossz, záródás, lejtés volt felrételezve.

Az egyes erdőszerkezetek alatti, a szabad víz megjelenési gyakoriságában megjelenő különbségek statisztikai kiértékelését  $X^2$  próbával végeztük. Az értékeléshez az egyes szenzorok mérési eredményeiből a csapadékos időszakokban a szabad víz megjelenési gyakoriságait számoltuk össze. Minden olyan csapadékos időszakot, vagy hóolvadással összefüggő talajnedvesség növekedést, amelynek esetében legalább egy szenzor a szabad víz megjelenését regisztrálta, mintavételi időpontnak tekintettünk és minden szenzornál értékeltük az adott időszakra a szabad víz jelenlétét vagy hiányát. Összesen 29 csapadékos időszak esetén haladta meg a talajnedvesség a szabadföldi vízkapacitás értékét és jelent meg szabad víz a talajban, legalább egy mintavételi hely esetében.

Az azonos állományszerkezettel jellemezhető kategóriák ((idős bükkös, középkorú bükkös, középkorú luc, vegyeskorú bükk) három – három mintaterületének homogenitását a szabad víz megjelenési gyakoriságának szempontjából  $X^2$  homogenitásvizsgálattal ellenőriztük.



A szabad víz kategóriákként összesített megjelenési gyakoriságainak az egyes kategóriáktól való függőségét  $X^2$  függetlenségvizsgálattal ellenőriztük. Bonferoni post-hoc tesztet alkalmaztunk a páronkénti összehasonlítások elvégzéséhez. A kiértékeléshez Statistica 13.5.0.17 szoftvercsomagot használtunk. A választott szignifikanciaszint 5%.

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A középkorú lucosokban, a XLVI. üzemegység 33C és 34C erdőrészekben felvételezett mintaterületek 60 és 65 éves, 90–100%-os záródással, a román relatív fatermőosztályozási rendszerben (Giurgiu & Drăghiciu 2004) I–II. relatív termőosztályba tartozó, 16,4–18,3 m<sup>3</sup>/ha folyónövedékkel jellemezhető állományban lettek kijelölve.

1. táblázat: Az állományfelmérések eredményei (\* A fatermőosztály és a folyónövedék a Román Relatív Fatermőosztály táblázatok alapján került meghatározásra)

Table 1: results of stand surveys (the yield class and the growth determinations are based on the Romanian Relative Yield Class Tables)

	Középkorú lucos			Középkorú bükkös			Idős bükkös			Vegyeskorú bükk ± luc, jegenyefenyő		
Mintaterület sorszáma	13	4	12	1	2	3	9	10	7	5	15	14
Erdőrészlet száma	33C	34C	37	35B	35B	35B	33D	33D	34A	34A	33D	33D
Lejtés (°)	18	17	19	30	36	30	22	18	18	31	18	21
Kitettség	DNY	ÉK	DNY	K	K	ÉK	ÉNY	ÉNY	ÉNY	ÉNY	NY	NY
Fajösszetétel (%)	LF 100%	LF 95% BÜ 4% HSZ 1%	LF 100%	BÜ 83% LF 5% NYI 5% RNY 4% JF 1% HSZ 2%	BÜ 88% NYI 10% KJ 1% HJ 1%	BÜ 90% HJ 6% NYI 3% LF 1%	BÜ 100%	BÜ 100%	BÜ 100%	BÜ 100%	BÜ 79% LF 21%	BÜ 84% LF 15% JF 1%
Kor (év)	65	65	60	65	65	65	130	130	130	–	–	–
Záródás (%)	100	90	90	100	100	100	95	100	100	90	90	90
Átlagátmérő (cm)	27,6	29,5	18,5	19,1	15,8	19,5	47,3	35,3	36,7	43,5	43	50,3
Átlagmagasság (m)	26,4	28,6	20,6	20,2	17,6	19,1	31,9	30	31,2	17,3	18,1	23,3
Biológiai felsőmagasság (m)	30,2	33,9	24,2	25,2	23,7	27,1	34,9	34,8	35,2	36,7	32,7	35,7
Körlapösszeg (m <sup>2</sup> /ha)	64,8	75,2	56,9	48,2	41,7	44,3	45,7	43,1	41,3	52	40,6	51,6
Fatérfogat (m <sup>3</sup> /ha)	826	1049	601	546	453	507	796	702	695	977	606	883
Törzsszám (db/ha)	1080	1100	2120	1680	2140	1480	260	440	390	350	280	260
Átlagos törzstávolság (m)	3,3	3,2	2,3	2,6	2,3	2,8	6,7	5,1	5,4	5,7	6,4	6,7
Termőosztály*	I	I	II	II	III	III	II	II	II	II	III	II
Folyónövedék	18,3	18,3	16,4	11,4	9,4	9,4	8,6	8,6	8,6	–	–	–



A középkorú bükkösben a XLVI. üzemegység 35B erdőrészletben felvételezett mintaterületek 65 éves, 100%-os záródással, a román relatív fatermőosztályozási rendszerben (Giurgiu & Drăghiciu 2004) II–III. relatív termőosztályba tartozó, 9,4–11,4 m<sup>3</sup>/ha folyónövedékkel jellemezhető állományban lettek kijelölve.

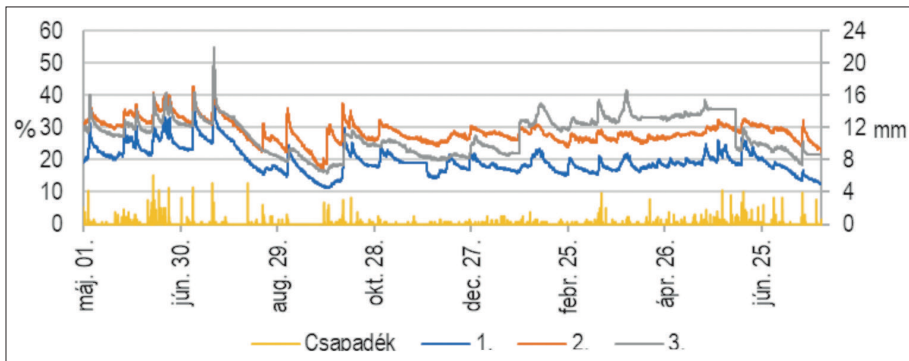
Az egykorú idős bükkösben a XLVI. üzemegység 33D és 34A erdőrészletben felvételezett mintaterületek 130 éves, 95–100%-os záródással, a román relatív fatermőosztályozási rendszerben (Giurgiu & Drăghiciu 2004) II. relatív termőosztályba, 8,6 m<sup>3</sup>/ha folyónövedékkel jellemezhető állományban lettek kijelölve.

A vegyeskorú bükkösök a XLVI. üzemegység 33D és 34A erdőrészletekben felvételezett mintaterületek 90%-os záródással, a román relatív fatermőosztályozási rendszerben (Giurgiu & Drăghiciu 2004) II–III. relatív termőosztályú állományokként jellemezhetők

A fenti mintaterületek mellett talajnedvesség szenzorok kerültek elhelyezésre a XLVI. üzemegység 33D és 34A részleteiben 130 éves idős bükkösökben lékes felújító-vágással a 2017-es év folyamán kialakított 3 lék esetében is. A lékek szabálytalan, körhöz közelítő kialakításúak, 30–50 méter átmérővel jellemezhetők, 60–70%-os területarányban 0,5–2,5 m magas bükk újulattal borítottak, a maradék területet jellemzően *Rubus idaeus* (Linné, 1753), *Rubus hirtus* (Waldstein & Kitaibel, 1805) és *Urtica dioica* (Linné, 1753) borítja.

A talajnedvesség alakulása a különböző állományszerkezetek alatt a 2–5. ábrákon látható.

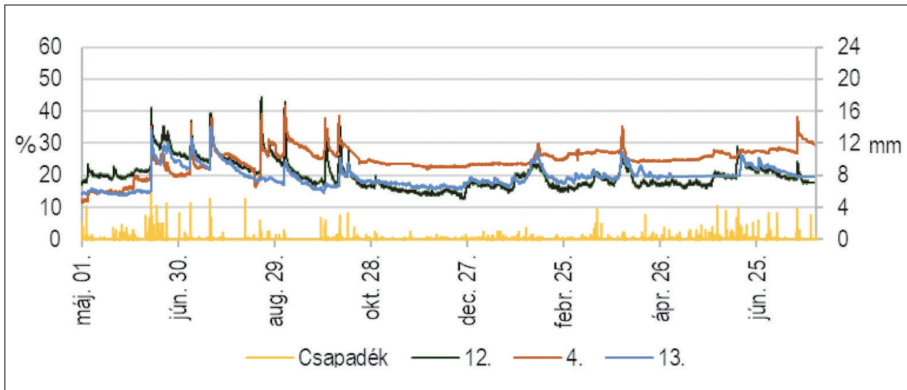
A talajnedvesség mérések kiértékelése alapján azonosított szabad víz megjelenési gyakoriságok az egyes faállomány-kategóriákban a 2. táblázatban vannak feltüntetve. A mintaszámok a fel-lépő adatvesztések (az adatrögzítők elektronikai hibája, róka, medve általi rongálása) miatt nem egyeznek.



2. ábra: Talajnedvesség alakulása a középkorú bükkös mintaterületeken

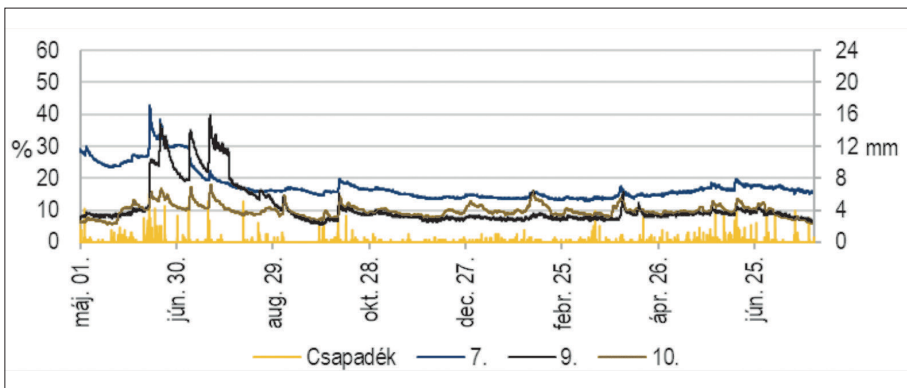
Figure 2.: Evolution of soil water content in sampling sites under middle-aged beech stands





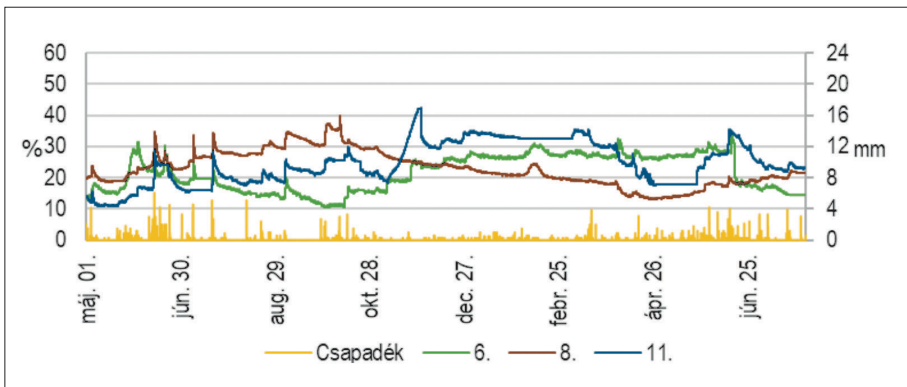
3. ábra: Talajnedvesség alakulása a középkorú lucos mintaterületeken

Figure 3.: Evolution of soil water content in sampling sites under middle-aged spruce stands



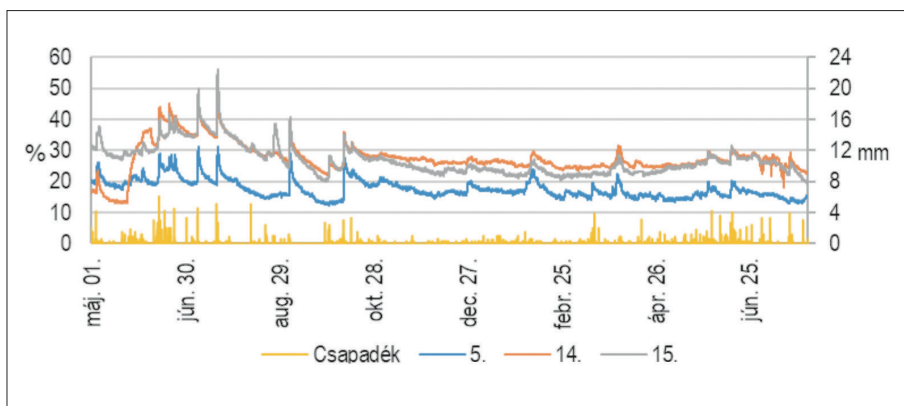
4. ábra: Talajnedvesség alakulása az idős bükkös mintaterületeken

Figure 4.: Evolution of soil water content in sampling sites under old beech stands



5. ábra: Talajnedvesség alakulása az idős bükkös alatt kialakított lék mintaterületeken

Figure 5.: Evolution of soil water content in sampling sites in small regeneration plots of old beech stands



6. ábra: Talajnedvesség alakulása a vegyeskorú bükkös mintaterületeken

Figure 6.: Evolution of soil water content in sampling under multiple aged beech stands

2. táblázat: A szabad víz megjelenési gyakoriságai az egyes fafaj- és állományszerkezet-kategóriákban

Table 2.: Free water occurrences in the different tree species and stand structure categories

Faállomány kategória	Mintaterület	Igen	Nem	Összesen
Középkorú bükkös	1	21	8	29
	2	16	13	29
	3	15	12	27
Középkorú bükkös, összesen		52	33	85
Középkorú lucos	12	18	11	29
	4	14	14	28
	13	12	13	25
Középkorú lucos, összesen		44	38	82
Idős bükkös	7	10	19	29
	9	11	18	29
	10	12	17	29
Idős bükkös, összesen		33	54	87
Vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	5	16	13	29
	15	17	12	29
	19	19	9	28
Vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő, összesen		52	34	86
Lék idős bükkösben	6	13	16	29
	8	12	17	29
	11	12	12	24
Lék idős bükkösben, összesen		37	45	82
Összesen		218	204	422

A szabadföldi vízkapacitást meghaladó talajnedvesség nagyobb mennyiségű csapadékkal jellemezhető esős időszakokban (több mint 7,2 mm/72 óra csapadékösszeg) és hóolvadáskor jelent meg a Szent Anna-tó kráter erdőállományainak talajában (3. táblázat).

3. táblázat: Szabad víz megjelenés időpontjai és a megelőző 72 óra mért csapadékmennyiségei  
(a \*-gal jelölt események hóolvadással hozhatók kapcsolatba)

Table 3.: Moments of occurrences of free water and precipitation quantities recorded during the preceding 72 hours period (the events marked with \* are related to snow-melting periods)

Időpont	72 órás csapadék-összeg (mm)	Időpont	72 órás csapadék-összeg (mm)
2020. május 4.	30,2	2020. október 9.	56,7
2020. május 22.	24,3	2020. október 14.	16,9
2020. május 26.	14,7	2020. november 1.	17,3
2020. június 2.	16,2	2020. december 26.	13,5
2020. június 12.	16,8	2021. február 10.*	3,9
2020. június 19.	37,2	2021. február 25.*	0,3
2020. június 20.	44,0	2021. március 16.	14,5
2020. június 22.	32,5	2021. április 2.*	0,4
2020. július 8.	34,5	2021. április 15.	8,1
2020. július 20.	45,1	2021. május 21.	19,8
2020. augusztus 12.	7,2	2021 május 28.	23,8
2020. augusztus 21.	17,1	2021 június 2.	21,9
2020. augusztus 26.	16,6	2021. június 13.	23,1
2020. szeptember 5.	39,9	2021. július 20.	12,6
2020. október 1.	28,8		

Az egyes mintavételekre jellemző eltérő állomány-talajnedvesség-csapadékmennyiség állapotok következtében a minták egymástól függetlennek tekinthetők. Az egyes kategóriákban kijelölt három-három mintaterület szabad víz megjelenési gyakoriságainak homogenitásvizsgálat-eredményei szerint az egyes kategóriákban nem utasítható el a minták homogenitása 5%-os szignifikanciaszinten. Az eredményeket a 4. táblázat tartalmazza.

Az egy kategóriához tartozó mintaterületek esetében a szabad víz megjelenési aránya nem függ a mintaterülettől, az egyes kategóriák mintaterületeinek mintavételei egy populációhoz tartozónak tekinthetők, együtt vizsgálhatók a továbbiakban.

4. táblázat: Az egyes faj- és állományszerkezet-kategóriák mintaterületeinek  $X^2$  homogenitásvizsgálat eredményei 5%-os szignifikanciaszinten

Table 4.: Results of the  $X^2$  homogeneity tests in the different tree species and stand structure categories at 5% level of significance

Faállomány kategória	Szabadságfok	N	$X^2$	p
Középkorú bükkös	2	85	2,341	0,310
Középkorú lucos	2	82	1,298	0,523
Idős bükkös	2	87	0,293	0,864
Vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	2	86	1,021	0,600
Lék idős bükkösben	2	82	0,396	0,820

A kategóriák szintjén elvégzett függetlenségvizsgálat eredménye szignifikáns 5%-os szignifikanciaszinten, a szabad víz megjelenésének gyakoriságai legalább egy esetben nem függetlenek az egyes kategóriáktól  $X^2(4, 422) = 13,854$ ,  $p = 0,0078$ .

A függetlenségvizsgálat páronként elvégzett összehasonlításainak eredményeit összesítő adatokat az 5. táblázat tartalmazza. A párok szerinti összehasonlításhoz a Bonferoni post-hoc teszt korrigált szignifikanciaszintje  $\alpha_B = \alpha/10 = 0,005$ .

5. táblázat:  $X^2$  függetlenségvizsgálat kategóriapáronként végzett összehasonlításainak eredményei.

A \*-gal jelölt értékek szignifikáns eredményt jelölnek Bonferoni post-hoc korrigált szignifikanciaszinten ( $\alpha_B = 0,005$ )  
Table 5: Results of  $X^2$  independence pairwise testing. The values marked with \* represent significant differences at the Bonferoni post-hoc corrected level of significance ( $\alpha_B = 0,005$ )

Összehasonlított kategóriák	Szabadságfok	N	$X^2$	p
Középkorú bükkös – középkorú lucos	1	167	0,965	0,326
Középkorú bükkös – idős bükkös	1	172	9,294*	0,002*
Középkorú bükkös – lék idős bükkösben	1	167	4,322	0,038
Középkorú bükkös - vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	1	171	0,009	0,924
Középkorú lucos – idős bükkös	1	169	4,210	0,040
Középkorú lucos – lék idős bükkösben	1	164	1,195	0,274
Középkorú lucos – vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	1	168	0,794	0,373
Idős bükkös – lék idős bükkösben	1	169	0,900	0,343
Idős bükkös – vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	1	173	8,787*	0,003*
Lék idős bükkösben – vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	1	168	3,967	0,046

A vizsgálat szignifikáns eredményt mutat az idős bükkös – vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő kategóriák, és a középkorú bükkös – idős bükkös kategóriák összehasonlításakor. A szabad víz megjelenési gyakorisága nem tekinthető függetlennek attól, hogy melyik kategóriához tartozik. Az idős egykorú bükkösök alatti mérések esetében a szabad víz kisebb gyakorisággal jelent meg, mint középkorú és a vegyeskorú bükkösökben. Ennek értelmében az állomány-szerkezet valamilyen módon hatással van a szabad víz megjelenésére.

Nincs szignifikáns különbség a középkorú bükkösök, középkorú lucosok és vegyeskorú bükkösök, valamint az idős bükkösben létrehozott lékek szabad víz megjelenési gyakoriságai között, a lucosokban és bükkös lékekben mért gyakoriságok köztes értékűek az idős bükkös és a vegyeskorú bükk ± luc, jegenyefenyő, valamint a középkorú bükkös állományokhoz viszonyítva (2. táblázat).

Az idős bükkös esetében a szabad víz megjelenési gyakoriságának elmaradása a többi faállomány-kategóriában tapasztalható gyakoriságtól valószínűleg azzal a ténnyel áll összefüggésben, hogy a talajnedvesség alakulása az idős bükkösben eltér a többi kategóriától (2-5. ábrák), ebben a kategóriában a talajnedvesség alacsonyabb szinten (10-20%) mozog, mint a többi kategóriában (20-30%), ez főleg a 2020. év nyári időszakától kezdődően jól látható.

A kutatás eredményei nem adnak választ a különbséget kiváltó állományszerkezeti okokra, amelyek feltehetőleg az állomány csapadékretenenciója és transzspirációja által, valamint a talajfelszín párologtatását befolyásolva a talaj nedvességtartalmának időbeni alakulásán keresztül befolyásolják a szabad víz megjelenésének a gyakoriságát.

Az idős bükkös és a középkorú bükkös, valamint a vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő kategóriákban az állományszerkezet egyes paraméterei (záródás, körlaposság) közt nincs jelentős elté-



rés, amelyek a megjelenő eltéréseket sejtetnék, ugyanakkor más jellemzők (átlagátmérő, magasság, hektáronkénti fatérfogat, átlagos törzstávolság stb.) között vannak különbségek, a tapasztalt szabad víz megjelenési gyakoriságok közti eltérések okainak pontos megértése további kutatások során lenne lehetséges.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás a kráter belső lejtőin található különböző fafajösszetételű és szerkezetű állományok esetében vizsgálja a szabad víz megjelenését és ennek gyakoriságában megjelenő különbségeket, annak megértése céljából, hogy a Szent Anna-tó vízmérlegére valamilyen lehetséges hatás feltételezhető-e a felszín alatti hozzáfolyás lehetősége által.

A mérések eredményei igazolják a szabad víz megjelenését a Szent Anna-tó belső kráterlejtőinek talajában. A talaj durva, homok, vályogos homok textúrája a gravitációs víz gyors leszivárgását biztosítja az alapkőzet irányába.

A több mint egy éves mérési időszak során rögzített, 29 db. szabad víz megjelenési esemény hatásainak összehasonlító vizsgálata volt elvégezve különböző fafajösszetételű (bükk, luc) és korszerkezetű (egykorú, többkorú) állományokban, illetve az idős bükkösben vágott lécek esetében Statisztikai szempontból szignifikáns különbség volt kimutatható az idős egykorú és a vegyeskorú bükk ± luc, jegenyefenyő állományok között, valamint az idős egykorú bükkös és a középkorú, szintén egykorú bükkös állományok esetében. A kutatás az állományszerkezeti tényezők és a szabad víz megjelenési gyakorisága közötti pontos ok – okozati összefüggéseket nem tárja fel, csak az egyes állományok szintjén azonosítja a különbségeket.

További összehasonlító vizsgálatok szükségesek annak vizsgálatára, hogy a Szent Anna-tó kráterét borító különböző fafaj- és állományszerkezet-kategóriák esetében vannak-e olyan jelentős különbségek az állományok párologtatásában, az állományi csapadék alakulásában, az állomány alatti páratartalom éves menetében, amelyek a talaj nedvesség-tartalmának változásait és ezáltal a szabad víz megjelenésének gyakoriságában feltárt különbségeket magyarázhatják.

A szabad víz megjelenése igazolja annak lehetőségét, hogy ez a vízmennyiség a felszín alatti lefolyás által a tó vízmérlegének tápláló komponensét képezheti. Az eredmények alapján valószínűsíthető, hogy létezik ez a vízmérleg-komponens a Szent Anna-tó esetében, azonban a szabad víz megjelenése önmagában nem bizonyítja azt, hogy ennek a vízmennyiségnek a gravitációs komponense a felszín alatti beszivárgás útján a tavat táplálja, ehhez az elszivárgás irányára vonatkozó kutatások volnának szükségesek, amelyek a kráterfalat felépítő piroklasztit rétegek jellemzőit és elhelyezkedését célozzák.

Az eredmények feldolgozása során feltárt összefüggéseknek a helyi jelentőségén túlmenően általános erdőgazdálkodási és vízgazdálkodási, környezetvédelmi jelentősége is lehet. Abban az esetben, ha a felszín alatti hozzáfolyás létezése, mint a vízmérleg tápláló komponense a további kutatások során bizonyítást nyer, az erdőművelési beavatkozások által, a feltárt összefüggések figyelembevételével, a tó vízmérlegére hatást lehet gyakorolni.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti Dósa Leventét és Szakács Mártont, a Szent Anna-tó gondnokságának a képviselőit, Szmolka Istvánt, Szmolka Editet, Tóth Szabolcsot, Szilágyi Ákosta a terepi adatgyűjtésben nyújtott segítségükért. Köszönjük a Csíki Magánerdészetnek és a Lázárfalvi Szent Anna Közbirtokosságnak, hogy lehetővé tették a kutatást a területen. Köszönjük dr. Csiszér Leventének a Sapiaientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem tanárának a talajtani vizsgálatok során nyújtott segítségét.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Badea L., Gâștescu P., Velcea V., Bogdan O., Donisă I., Dragomirescu Ș. et al. 1983: Geografia României I., Geografia fizică. Editura Academiei Republicii Socialiste România, București.
- Begy R.Cs., Timár-Gábor A., Somlai J. & Cosma C., 2011: A sedimentation study of St. Ana Lake (Romania) applying the  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  Dating methods. *Geochronometria* 38(2): 93–100
- Gelei J. 1909: A Szent Anna tó. Földrajzi közlemények Budapest, XXXVII.: 177–200
- Giurgiu V. & Drăghiciu D. 2004: Modele matematico-auxologice și tabele de producție pentru arborete. Editura Cereș, București
- Harangi Sz., Molnár M., Vinkler A.P., Kiss B., Jull A.J.T. & Leonard A.G. 2010: Radiocarbon dating of the last volcanic eruptions of Ciomadul Volcano, SouthEast Carpathians, Eastern-Central Europe. *Radiocarbon* 52(2–3): 1498–1507
- Máthé I., Vörös L. & Felföldi T. 2018: Chemical and microbiological studies on the special aquatic habitats of the Ciomad Volcanic Complex. 14th International Scientific Conference on Mineral Waters of the Carpathian Basin. Institute of Geosciences FBERG TU, Košice: 43–45
- Mihály I. 2018: Szent Anna-tó fenékrajzainak nyomában. Székelyföldi geológus találkozó kivonatkiötet. Sepsiszentgyörgy, 27-29
- Oancea D., Velcea V., Caloianu N., Dragomirescu Ș., Dragu Gh., Mihai E. et al 1987: Geografia României III., Carpații românești și Depresiunea colinară a Transilvaniei. Editura Academiei Republicii Socialiste România. București
- Pál Z. 2001: A Szent Anna-tó batimetriája. *Collegium Geographicum, Cluj-Napoca* 2: 73–78
- Stefanovits P., Filep Gy. & Füleki Gy. 2010: Talajtan. Mezőgazda kiadó, Budapest, 160–162
- Rascón-Ramos A.E., Salvador M.M., Pérez G.S., Guerrero F.V., Pinedo-Alvarez A., Santellano-Estrada E. et al. 2021: Soil Moisture Dynamics in Response to Precipitation and Thinning in a Semi-Dry Forest in Northern Mexico. *Water* 13: 105. <https://doi.org/10.3390/w13010105>
- Stoenescu Șt. M. 1966: Atlasul climatologic al Republicii Socialiste România. Comitetul de Stat al Apelor, Institutul Meteorologic, București.
- Yuteng M., Remke L. V.D., Dushmantha H. J. 2014: Soil moisture variability in a temperate deciduous forest: insights from electrical resistivity and throughfall data. *Environmental earth sciences* 72: 1367–1381. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3362-y>
- Weng Y.T., Yi L.T., Yao L.L. & Fei S.T. 2019: Newly Calibrated Analytical Models for Soil Moisture Content and pH Value by Low-Cost YL-69 Hygrometer Sensor. *Measurement* 134: 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.MEASUREMENT.2018.10.071>

Érkezett: 2022. március 15.

Közlésre elfogadva: 2022. december 04.





### Abronchabitat

Az erdőbe kidobott, elhasználódott traktorabroncsok nem igazán szolgáltatnak szívmengető látványt. Ugyanakkor, ahogy a közmondás is mondja, minden rosszban van egy kevéske jó is (ha nem is túl sok). Az abroncsba összegyűlt vízből madarak, kismillősök isznak, vízi gerinctelenek is fejlődhetnek benne. Ezzel együtt is a vizes mikrohabitatok szerepét hagyjuk meg a denrotelmáknak, erdei pocsolyáknak, kis vízfolyások öbleinek, dagonyáknak. A leharcolt abroncsoktól pedig az erdőktől távol, arra kijelölt helyeken búcsúzzunk el.

**Fotó és szöveg: Csóka György (SOE ERTI)**



# A FAIPARI FOLYAMATOK SZÉNLÁBNYOM-ELEMZÉSÉHEZ KAPCSOLÓDÓ LOGISZTIKAI ÉS ENERGIAFELHASZNÁLÁSI KONVERZIÓS FAKTOROK MEGADÁSA

Kocsis Zoltán<sup>1</sup>, Németh Gábor<sup>1</sup>, Börcsök Zoltán<sup>1</sup>, Polgár András<sup>2</sup>, Király Éva<sup>3</sup>,  
Kóczán Zsófia<sup>1</sup> és Borovics Attila<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

<sup>2</sup>Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar

<sup>3</sup>Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet

## Kivonat

A klímaváltozás napjaink egyik kulcsfontosságú problémaköre. Kialakulásának egyik fő oka a légkörbe kibocsátott üvegházhatású gázok mennyisége, ami jelentős részben ipari-logisztikai tevékenységből származik. Az üvegházhatású gázok közül a legfontosabb és egyben az egyik leggyakoribb a szén-dioxid. A klímaváltozás hatásainak csökkentése érdekében, tehát ismerni kell a szén-dioxid keletkezésének helyeit, mennyiségét és a környezetre gyakorolt hatásait. A kutatás célja a faipari folyamatok szénlábnym-meghatározását szolgáló ún. konverziós faktorok megadása, majd egy egységesen alkalmazható számítási módszertan kidolgozása. A szerzők az irodalmi kutatómunka során vizsgálták a közúti szállításból és a faipari vállalatok villamos-, és hőfelhasználásából származó szén-dioxid-kibocsátásokat, majd megadták az ezeket jellemző konverziós faktorokat szén-dioxid-egyenértékben (CO<sub>2</sub>e) kifejezve. A bemutatott módszertan a gyakorlat számára adaptálható és hozzájárul a vállalati szén-dioxid-kibocsátás szisztematikus és tudományos alapokon nyugvó meghatározásához.

*Kulcsszavak:* Szén-dioxid, szén-dioxid-egyenérték, klímaváltozás, szénlábnym, logisztika, villamosenergia

## SPECIFYING LOGISTICS AND ENERGY CONSUMPTION CONVERSION FACTORS RELATED TO THE CARBON FOOTPRINT ANALYSIS OF THE WOOD INDUSTRY PROCESSES

### Abstract

Climate change is one of the key issues of recent times. One of the main reasons is the increasing amount of greenhouse gases released into the atmosphere, mainly derived from industrial and logistics activities. Carbon dioxide is the most important and also one of the most common greenhouse gases. In order to reduce the effects of climate change, it is therefore necessary to know the places where carbon dioxide is generated, its quantity and its effects on the environment. The aim of the research is to specify the conversion factors for determining the carbon footprint of wood industry processes, and then to develop a uniformly applicable calculation methodology. During the literature research, the carbon dioxide emissions from road transport and the electricity and heat consumption of wood



industry companies were examined, and then the conversion factors that characterize them were given in terms of carbon dioxide equivalent ( $\text{CO}_2\text{e}$ ). The presented methodology can be adapted for practice and contributes to the systematic and scientific determination of companies' carbon dioxide emissions.

*Keywords:* Carbon dioxide, carbon dioxide equivalent, climate change, carbon footprint, logistics, electrical energy

## BEVEZETÉS

Napjaink egyik aktuális környezeti, társadalmi és gazdasági problémaköre az éghajlatváltozás. Ennek egyik okozója az ipari szektor és a közlekedésből fakadó károsanyag-kibocsátás, ezen belül is a szén-dioxid ( $\text{CO}_2$ ) kibocsátás mértéke, mivel a globális felmelegedés szempontjából ez a legártalmasabb légkörbe kibocsátott káros anyag (Kuti 2019, Mohamed et al. 2019). Csökkentési lehetőségét folyamatosan, több tudományterületen is kutatják. Az Európai Unió fenntartható fejlődési stratégiája és az Európa 2020 stratégia az ÜHG kibocsátásában 1990-hez viszonyítva 20%-os csökkentést tűzött ki célul. Uniós célkitűzéseként pedig 2030-ra 40%-os, 2050-re 80%-os csökkentési mérték szerepel az 1990-es kibocsátási szinthez képest (Európai Parlament 2019). A közlekedés vonatkozásában az EU meghatározta, hogy az 1990-es adatokhoz képest 2050-re a közlekedésből származó szén-dioxid-kibocsátás mértékét 60%-ra kell csökkenteni (forrás: Európai Környezetvédelmi Ügynökség).

A károsanyag-kibocsátások szempontjából a mai modern ellátási láncokban (Supply Chain) az egyik kulcsfontosságú tényező az áruszállítás, azon belül is a közúti szállítás, annak ellenére, hogy a technológia fejlődésének köszönhetően az egy járműre eső  $\text{CO}_2$ -kibocsátás az elmúlt években csökkent. A keresletnövekedés hatására azonban a teljes  $\text{CO}_2$ -kibocsátás az elmúlt időszakban is jelentősen nőtt. E növekedést egyrészt a gyártott termékek mennyiségének növekedése, másrészt a globális piacoknak való megfelelési kényszer által előidézett logisztikai döntések generálták. (Cuthbertson 2011). Egy vállalat szén-dioxid-kibocsátása nagymértékben függ attól, hogy melyik iparágban, milyen technológiával, mekkora termékszortimenttel dolgozik és milyen a pozíciója az ellátási láncban.

### A legfontosabb üvegházhatású gázok (ÜHG) ismertetése

A következőkben ismertetjük a legfontosabb üvegházhatású gázok környezetre gyakorolt hatáseit (Alan 2019).

- Szén-dioxid ( $\text{CO}_2$ ): A szén-dioxid a legfontosabb üvegházhatású gáz, amely a kibocsátások mintegy 75%-át adja, és kb. 300–1000 évig is a légkörben tartózkodhat. A szén-dioxid-kibocsátás elsősorban szerves anyagok elégetéséből származik, mint a szén, olaj, gáz, fa és a szilárd hulladék.
- Metán ( $\text{CH}_4$ ): A földgáz fő összetevője, a metán a hulladéklerakókból, a földgáz- és kőolaj-iparból, valamint a mezőgazdaságból szabadul fel. A metán molekula légkörben töltött élettartama kb. 12 év. Az üvegházhatást okozó gázok összes kibocsátásának körülbelül 16%-át adja.

- Dinitrogén-oxid ( $N_2O$ ): A dinitrogén-oxid viszonylag kis részét kb. 6%-át teszi ki az üvegházhatást okozó gázok globális kibocsátásának, a légkörben töltött élettartama meghaladja a 100 évet. A dinitrogén-oxid-kibocsátás legjelentősebb forrása a mezőgazdaság és az állattenyésztés, beleértve a műtrágya, a trágya és a mezőgazdasági maradványok, valamint az üzemanyagok elégetését.
- Ipari gázok: Ilyenek például a fluorozott szénhidrogének, a klór-fluorozott szénhidrogének, a kén-hexafluorid ( $SF_6$ ) és a nitrogén-trifluorid ( $NF_3$ ) hőmégkötő potenciállal rendelkeznek. Molekulájuk ezerszer nagyobbak, mint a szén-dioxid molekula, és akár 1000 évig is a légkörben tartózkodnak. Az összes kibocsátás körülbelül 2%-át teszik ki. Hűtőközegként, oldószerként és a gyártás során használják, néha melléktermékként.

A Tier 1 módszertan és a 2006. évi IPCC-iránymutatásai alapján az üvegházhatású gázok szén-dioxid-egyenértékben történő összehasonlítását az 1. táblázatban láthatjuk.

1. táblázat:  $CH_4$  és  $N_2O$  kibocsátás a villamosenergia termelés során<sup>1</sup>

Table 1: The  $CH_4$  and  $N_2O$  emissions for the electricity generation<sup>1</sup>

GHG (üvegházhatású gázok)	100 éves globális felmelegedési potenciálok (GWP) – SAR (IPCC második értékelő jelentés)	100 éves globális felmelegedési potenciálok (GWP) – AR4 (negyedik értékelő jelentés)
Szén-dioxid ( $CO_2$ )	1	1
Metán ( $CH_4$ )	21	25
Dinitrogén-oxid ( $N_2O$ )	310	298

A szén-dioxid GWP-je definíció szerint 1, ami azt jelenti, hogy 1 kg metán átlagosan 23-szor, 1 kg dinitrogén-oxid pedig átlagosan 304-szer nagyobb felmelegedést okoz, mint 1 kg szén-dioxid). Az ipari gázoknak a klíma melegedésére jóval kisebb a befolyásuk. Magyarországon kibocsátott üvegházhatású gázok kb. 70%-a gazdasági tevékenységből származik, a többi a háztartások kibocsátása során, elsődlegesen fűtéssel-hűtéssel és gépkocsihasználattal kerül a légkörbe (KSH 2021).

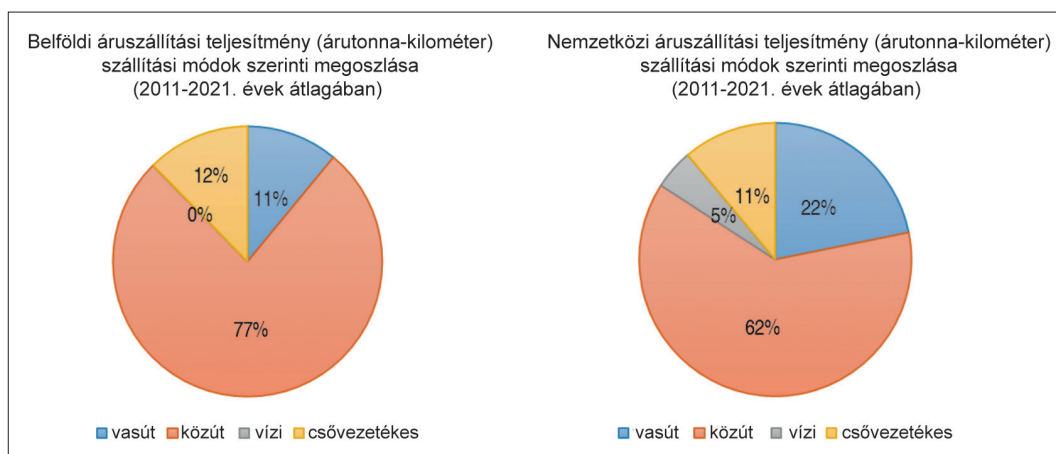
Az ipari-logisztikai folyamatok negatív környezeti hatásainak csökkentésére vonatkozó törekvések egyik lehetősége, hogy a gazdasági szereplők felmérjék és meghatározzák a tevékenységük által produkált szén-dioxid-kibocsátást és az ebből adódó környezetterhelés mértékét. A szakirodalom ezt Carbon Footprint, vagyis szénlábnyom-elemzésnek nevezi. A szénlábnyom (vagy karbonlábnyom) az emberi tevékenység környezeti hatásának egyik mércéje. Azt fejezi ki, hogy például egy ember életmódja, egy termék életciklusa, egy vállalat tevékenysége mennyi közvetlen és közvetett üvegházgáz-kibocsátással jár és ez milyen mértékben járul hozzá a globális felmelegedéshez. Általános definíció szerint, a szénlábnyom valamely termék vagy szolgáltatás teljes élettartama során keletkező szén-dioxid és egyéb üvegházhatású gázok, szén-dioxid egyenértékben kifejezett, együttes mennyisége (Sós 2021). Mértékegysége, tehát a szén-dioxid-egyenérték ( $CO_2e$ ), ami az összes üvegházhatású gáz (metán, dinitrogén-oxid... stb.) kibocsátását is magában foglalja. Minél nagyobb valamilyen tevékenység vagy egyén szénlábnyoma, annál nagyobb annak a klímaváltozásra (elsősorban a felmelegedésre) gyakorolt hatása.

<sup>1</sup> International Energy Agency: Emission factors 2018 ([http://wds.iea.org/wds/pdf/CO2KWH\\_Methodology.pdf](http://wds.iea.org/wds/pdf/CO2KWH_Methodology.pdf)) (megtekintés: 2022. 06. 17.)

## AZ ÁRUSZÁLLÍTÁSI TELJESÍTMÉNYEK STATISZTIKAI ELEMZÉSE

A faiparban is egyre nagyobb a szerepe a Just In Time (JIT) elvű szállításnak, amely szerint folyamatosan egyre kisebb mennyiségű áru mozgatása történik, folyamatosan egyre rövidebb határidővel. Ez a készletezési költségek fokozatos csökkenésével jár, azonban növeli a környezeti terhelést. Mivel ennél a rendszernél kiemelt jelentőségű, hogy az áru fuvarozása kellő rugalmassággal és precizitással teljesüljön, ezért az áru mozgása többnyire közúton valósul meg, ami viszont jelentős környezeti terhelést jelent. Az EU-ban a közlekedésből származó szén-dioxid 72%-áért felelős a közúti közlekedés, ebből ~40% köthető az áruszállításhoz.

A továbbiakban a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatait vizsgáltuk az áruszállítási teljesítményekre vonatkozóan Magyarországi viszonylatban belföldi és nemzetközi szinten. Jellemzően hazánkban is a közúti közlekedés a domináns, ezt követi a vasúti és a csővezetékes szállítás (1. ábra).



1. ábra: A belföldi és a nemzetközi áruszállítási teljesítmény szállítási módok szerinti alakulása (KSH 2021 alapján, saját szerkesztés)

Figure 1: The ratio domestic and international goods transport performance according to transport methods (Based on KSH 2021, own editing)

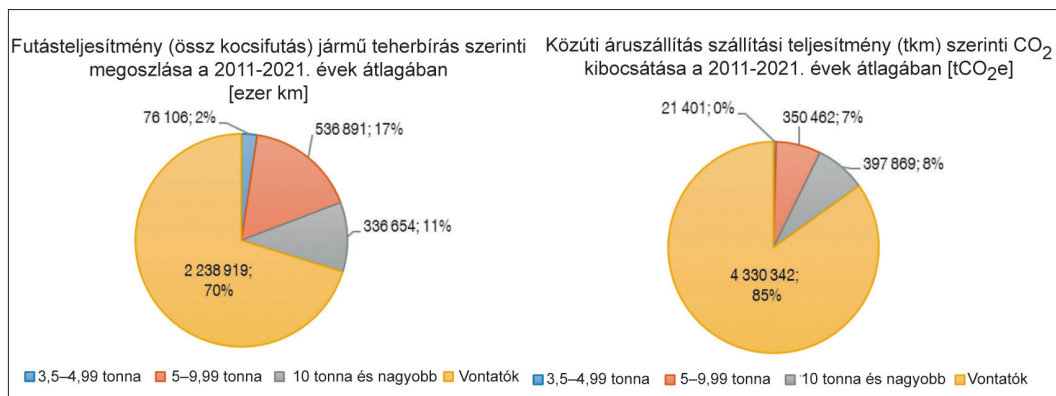
A továbbiakban a közúti és a vasúti áruszállítási módokat elemeztük, hiszen ezek a meghatározóak az ipari-gazdasági folyamatoknál. Összehasonlítottuk a közúti és vasúti szállítási teljesítményeket a 2001–2021., valamint a 2011–2021. időszakokra vonatkozóan, majd megadtuk a szállítási teljesítmények alapján a szén-dioxid-kibocsátási értékeket szén-dioxid-egyenértékben ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) kifejezve. A  $\text{CO}_2$ -egyenérték számításához alapul vett közúti fuvarozás konverziós faktorát a későbbiekben ismertetett irodalmi adatok alapján választottuk meg 0,1391  $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{tkm}$  értékre. A vasúti áru fuvarozás konverziós faktorát pedig a DEFRA (2013) tanulmány alapján vettük figyelembe 0,0308  $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{tkm}$  értékkel (2. ábra).



2. ábra: A belföldi és a nemzetközi áruszállítás szállítási teljesítménye és CO<sub>2</sub>-kibocsátása (KSH 2021 alapján, saját szerkesztés)

Figure 2: The transport performance and the CO<sub>2</sub> emissions of domestic and the international freight transport (Based on KSH 2021, own editing)

A vasúti áru fuvarozás fajlagosan kevesebb mint negyedannyi szén-dioxid-kibocsátással jár, mint a közúti áruszállítás, tehát a kötétpályás rendszerek fejlesztése környezeti szempontból kiemelt fontosságú. Ehhez kapcsolódó célkitűzés, hogy a logisztikai árumozgatás folyamán a vasúton történő árutovábbítás (intermodiális logisztikai szolgáltatás) egyre nagyobb arányban részesüljön.



3. ábra: A közúti (belföldi és nemzetközi) áruszállítási teljesítmények és a hozzá tartozó CO<sub>2</sub>-kibocsátás jármű teherbírás szerinti megoszlása (KSH 2021 alapján, saját szerkesztés)

Figure 3: The distribution of road (domestic and international) goods transport performances and the related CO<sub>2</sub> emissions according to the vehicle capacity (Based on KSH 2021, own editing)



A közúti áruszállítást jellemzően, mintegy 90–95%-ban 7,5 tonnánál nagyobb teherbírású tehergépjárművekkel valósítják meg (3. ábra). A baloldali ábrán az összes koccsifutást szerepeltettük ezer kilométerben, a jobb oldali ábrán pedig a szállítási teljesítmény alapján számított CO<sub>2</sub>-kibocsátást tüntettük fel tCO<sub>2</sub>e-ben kifejezve. A nagyobb járművek tkm szerinti kibocsátása a nagyobb mennyiségű teher továbbításának köszönhető. A KSH 2021 adatai alapján Magyarországi viszonylatban a belföldi és a nemzetközi fuvarok 75–80%-át rakott, 20–25%-át, pedig üres koccsifutás jellemzi.

## AZ IPARI FOLYAMATOK SZÉN-LÁBNYOM-ELEMZÉSÉNEK MÓDSZERTANA

A (fa)ipari vállalatok egyre nagyobb erőfeszítéseket tesznek az üvegházhatású gázok, benne a CO<sub>2</sub>- kibocsátás mértékének megállapítására és csökkentésére. Faipari vonatkozásban éppen ezért az egyik fő törekvési irány az ún. kaszkád rendszerek alkalmazása, ami azt jelenti, hogy a kitermelt ipari fát tartjuk termék formájában, minél tovább őrizzük meg a belé zárt szenet és csak legvégső esetben engedjük azt vissza (elsősorban energetikai hasznosítás révén) a légkörbe szén-dioxid formájában. Az ellátási lánc az együttműködő, egymással piacgazdasági kapcsolatban álló vállalatok sokaságát öleli fel, ezért a környezetszennyezés kérdéskörben felmerül a kibocsátás felelősségének a kérdése is. Időközben kialakult néhány olyan módszer, melyet arra használnak, hogy megállapítsák a szén-dioxid-kibocsátás felelősségének kérdését, kijelöljék a felelősségi kör határait (egy vállalat konkrétan meddig felelős a kibocsátásért) az ellátási láncokon belül. Az ellátási lánc-megközelítés azt feltételezi, hogy egy-egy konkrét vizsgált terméknel egyértelműen megállapítható, hogy mekkora mértékben felelősek az egyes gazdasági szereplők az üvegházhatású gázok kibocsátásáért. E gázok kibocsátása kapcsán az alábbi három típust különböztethetjük meg Lee (2011) nyomán (a GHG Protocol ezeket Scope 1, 2 és 3-ként nevezi meg (Schaltegger & Csutora 2012):

1. *típus (Scope 1)* – direkt kibocsátás, amely az ellátási lánc egy vállalata által saját alapvető tevékenysége során felhasznált fosszilis (üzem) anyagok (pl. szállítás, gyártás energiafelhasználás, stb.) során kibocsátott üvegházhatású gázokat öleli fel.
2. *típus (Scope 2)* – indirekt kibocsátás, mely az adott vállalat által felhasznált (megvásárolt) energiaforrások (pl. villamosenergia, hő) előállításához kapcsolódó kibocsátást jelenti.
3. *típus (Scope 3)* – azokat a kibocsátásokat foglalja magában, melyek az előző kettőtől kimaradtak. Úgy is értelmezhetjük, hogy ide tartozik minden, a vizsgált vállalat szempontjából indirekt, a saját közvetlen tevékenységén kívül eső kibocsátás, mint például a vásárolt szolgáltatások (pl. fuvarozás) kibocsátása.

Lee (2011) az alábbi CO<sub>2</sub>-kibocsátás számítására vonatkozó módszertant javasolja:

1. Első lépésben ki kell alakítani az egyes partnerekre vonatkozó kibocsátás mérésének módszertanát, annak útmutatóját, valamint a jelentési folyamatot.
2. Ezt követően fel kell építeni a CO<sub>2</sub>-kibocsátás folyamatainak térképét, melynek célja, hogy azonosítsa az ellátási lánc működésének összes lényeges elemét (pl. gyártás, disztribúció). Ez alapján meg lehet határozni az összes folyamatra jutó kibocsátás szintjét, valamint a felmerült költségeket. Ily módon az ellátási lánc szereplői közösen tudnak dolgozni azon, hogy csökkentsék a kibocsátás mértékét.



3. A második lépés adatai alapján tudnunk kell, hogy a folyamatok milyen kibocsátással járnak. Ezek lebonthatók egyedi termékek szintjére, amelyeket összegezve az ellátási lánc mentén, meghatározható egy adott termék szénlábnyoma.
4. Összegzés, amely egyrésztől megvalósulhat teljes ellátási lánc-szinten (pl. forgácslapgyártás ellátási láncának teljes kibocsátása), valamint megállapítható termékszinten (pl. natúr forgácslap gyártásából fakadó kibocsátás).
5. Következtetések levonása, ami akkor éri el célját, ha az ellátási lánc valamennyi tagja megfelelően tudja alkalmazni az adott módszert. Ha egy vállalat nem úgy, vagy nem azt méri, mint a többi vállalat az ellátási láncban, akkor az ő adatai nem vagy kevésbé lesznek összehasonlíthatók, ami helytelen döntéseket eredményezhet. Ez pedig rontja az ellátási lánc egészének teljesítményét.

A szénlábnyom kiszámításához számos adat és információ szükséges. Ezeket az adatokat és információkat közvetlen mérésekből vagy műszaki/szakértői becsléssel is megszerezhetjük. Ezek a mért vagy becsült (reálisan becsült) adatok első lépésben az energiafelhasználást jelenítik meg (pl. kWh, üzemanyag fogyasztás... stb.). Ezt az energiafelhasználást fejezzük ki szén-dioxid-egyenértékben ( $\text{CO}_2\text{e}$ ). Ehhez szükség van olyan konverziós faktorok ismeretére, amelyek segítenek meghatározni a különböző energiatípusok (villamosenergia, hő, üzemanyag stb.) felhasználásából eredő konkrét kibocsátást. Ezek segítségével tudjuk vállalati szinten meghatározni, hogy egy adott tevékenység (pl. áruszállítás) során elégetett üzemanyag vagy felhasznált energia összességében mennyi szén-dioxid-kibocsátást eredményez.

## A LOGISZTIKAI FOLYAMATOKKAL ÉS AZ ENERGIAFELHASZNÁLÁSSAL ÖSSZEFÜGGŐ KONVERZIÓS FAKTOROK MEGADÁSA

Logisztikai vonatkozásban a közúti áruszállítás konverziós faktorának meghatározását tűztük ki célul, hiszen a faiparban ez a releváns szállítási mód. A szállítás  $\text{CO}_2$ -kibocsátásának számítása során első lépésben a szállítójármű típusa, a kapacitáskihasználtság (raktérkihasználtság), alapján meg kell határozni az adott egységre (kilométer /km/, vagy tonna-kilométer /tkm/) vonatkozó konverziós faktor értékeket. A 2. táblázatban egyrészt a DEFRA (2013) részletes tanulmánya alapján, másrészt pedig saját átfogó irodalmi kutatómunkánk és szakmai tapasztalataink alapján adtuk meg a közúti áruszállítás leggyakoribb formáira vonatkozó konverziós faktor értékeket. A 2. táblázatban láthatjuk, hogy nagy a szórás az egyes kategóriákhoz tartozó értékek között. Ennek oka, hogy nagyon sok tényező van befolyással a  $\text{CO}_2$ -kibocsátásra (pl. gépjármű típusa, műszaki állapota, vezetési stílus, úthálózat minősége, földrajzi adottságok... stb.). Éppen ezért a legtöbb szakirodalom intervallumot (tól-ig) ad meg lokálisan a rájuk jellemző szállítási viszonylatban konkrét földrajzi helyre (ország vagy régió) vonatkoztatva. Irodalmi kutatómunkánk során áttanulmányoztuk az egyes kutatások eredményeit, melyek közül részletesebben az említett DEFRA 2013-as tanulmányt közöljük táblázatos formában, mert ez a feldolgozás tükrözi talán legjobban a valóságot, hiszen konkrét, az Európai Unióra vonatkozó átfogó méréseken alapszik.

Egy további tanulmány (IPCC 2014) szerint a nehézgépjárművek kibocsátása 0,076–0,178  $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{tkm}$  közötti tartományban van. Egyes adatbázisok (pl. Network for Transport Measures

adatbázis) a járműtípustól függően az előzőnél szélesebb tartományban (0,064–0,812 kgCO<sub>2</sub>e/tkm) adják meg a károsanyag-kibocsátás értékeket. A kutatások azt mutatták, hogy a nagyobb (teherbírási) járművek fajlagos károsanyag-kibocsátása alacsonyabb. Tovább nehezíti a helyzetet a járművek raktérkihasználtsága, McKinnon & Piecyk (2010) kutatása 0,0397–0,151 kgCO<sub>2</sub>e/tkm közötti kibocsátást eredményezett 50% és 100% raktérkihasználtság mellett. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség honlapján elérhető legfrissebb információk szerint a kamionos szállítás (>7,5 tonna) átlagos környezeti terhelése 0,1398 kgCO<sub>2</sub>e/tkm. Figyelembe véve a fenti statisztikai adatokat, valamint a kapcsolódó szakirodalmi háttérrel hazai viszonylatban reálisan 0,1391 kgCO<sub>2</sub>e/tkm súlyozott értéket vehetünk alapul a közúti fuvarozás környezeti terhelésének számítása során.

2. táblázat: A közúti áruszállítás konverziós faktorainak összefoglaló táblázata

(A km alapú faktorok forrása: DEFRA (2013), a \*-gal jelölt adatok saját kutatómunka eredményei)

Table 2: The summary table of the conversion factors for the road freight transport

(Source of the km-based factors: DEFRA (2013), data marked with \* are the results of own research)

Dízel üzemű nehéz teherautók konverziós faktora (kf <sub>sz</sub> )				
Típus	Egység	0%	50%	100%
		raktérkihasználtság	raktérkihasználtság	raktérkihasználtság
		kgCO <sub>2</sub> e	kgCO <sub>2</sub> e	kgCO <sub>2</sub> e
Pótkocsis teherautó (3,5 – 7,5 tonna)	km	0,6561	0,7126	0,7692
	tkm*	–	0,0565*	0,1192*
Pótkocsis teherautó (7,5 – 17 tonna)	km	0,7849	0,8960	1,0069
	tkm*		0,0776*	0,1374*
Pótkocsis teherautó (>17 tonna)	km	0,9449	1,1500	1,3552
	tkm*		0,0956*	0,1825*

Az ipari folyamatok CO<sub>2</sub>-kibocsátás számításához az alábbi kulcsfontosságú teljesítménymutatókat (key performance indicator, KPI) célszerű meghatározni Barna & Gelei (2014) nyomán:

- KPI 1: a szállítás energiafelhasználásából adódó teljes CO<sub>2</sub>-kibocsátás (tCO<sub>2</sub>e-ben kifejezve);
- KPI 2: a vállalat hő-, és villamosenergia-felhasználásából adódó teljes CO<sub>2</sub>-kibocsátás (tCO<sub>2</sub>e-ben kifejezve);
- KPI 3: egy tonna eladott termékre jutó CO<sub>2</sub>-kibocsátás (kgCO<sub>2</sub>e/tonna-ban kifejezve);
- KPI 4: a szállítás tonna-kilométerenkénti (tkm) CO<sub>2</sub>-kibocsátása (kgCO<sub>2</sub>e-ben kifejezve).

KPI 1: Ebbe a kategóriába tartozik az ún. elsődleges és másodlagos szállítás energiafelhasználása. Az elsődleges szállítás a vállalat és a raktárak közötti áruáramlást, míg a másodlagos szállítás a vállalat raktáraiból a vevőkhöz való árueljuttatást jelenti. A szállítmányozás teljes CO<sub>2</sub>-kibocsátása az alábbiakban számítható (1. képlet):

$$KPI\ 1 = \frac{\sum \text{szállítási távolság (km)} \cdot kf_{sz} \text{ (kgCO}_2\text{e/km)}}{1000}, \quad [tCO_2e] \quad (1)$$

ahol, kf<sub>sz</sub> – a konverziós faktor érték (2. táblázat alapján)

KPI2: A vállalat felhasznált villamosenergia és hőfelhasználását kell alapul venni. A villamosenergia esetében a hálózatról nyert energia, míg a hő esetében a földgáz és a faalapú energiatermelés konverziós faktorait fogjuk bemutatni.

A faipari félkész- és késztermékek gyártása során az üzemekben jelentős villamosenergia, hő, valamint üzemanyag felhasználás történik. Legtöbb esetben az egyes technológia lépésekhez tartozó energiafelhasználások nem ismertek külön-külön, mivel ezek nem kerülnek külön mérésre, regisztrálásra a termelés során. Ha technológiai lépésenként, vagy termékenként is kíváncsiak vagyunk az energiafelhasználásra és így a környezeti terhelésekre, akkor csak műszaki becslésekre tudunk hagyatkozni.

Vannak „egységesített” alapadatok is az energetikában, melyek például az alábbiak:

- Az egyes energiatípusokhoz tartozó *kibocsátási tényezőket* (az üvegházhatású gáz átlagos kibocsátását a forrásanyag tevékenységére vonatkozó adatokhoz képest, az égetés során teljes oxidációt és más vegyi reakciók esetében teljes átalakulást feltételezve) hazai és nemzetközi irányelvek és országos kibocsátási adatok alapján határozzuk meg, így úgynevezett 1. meghatározási szintről beszélhetünk.<sup>2</sup>
- Az egyes energiatípusokhoz tartozó *nettó fűtőértéket* (a tüzelőanyag vagy más anyag oxigénnel szabványos körülmények között történő teljes égetése során hő formájában kibocsátott energia pontos mennyisége, mínusz a létrejött víz párologtatásának hője) hazai és nemzetközi irányelvek, valamint például biomassza esetén a rendelkezésre álló vizsgálati jegyzőkönyvek alapján határozhatjuk meg, ennek megfelelően 1., illetve biomassza esetén 3. meghatározási szinteknek megfelelően járunk el.<sup>2</sup>
- *Oxidációs tényezők* esetében az 1. meghatározási szintet alkalmazzuk. Az oxidációs tényező nem más, mint az égetés eredményeképpen szén-dioxidra oxidált szén és a tüzelőanyagban lévő szén mennyiségének aránya hányadosként kifejezve, tekintve a CO<sub>2</sub> egyenértékű moláris mennyiségként a légkörbe kibocsátott szén-monoxidot (CO). A tüzeléshez felhasznált tüzelőanyagok széntartalma tehát többnyire nem ég el teljes mennyiségben. Az oxidációs tényező az elégés arányát fejezi ki százalékban. Pontos értéke mérésen alapuló számítással határozható meg.<sup>2</sup>

Célunk, hogy a vállalat teljes szén-dioxid kibocsátását meghatározzuk szén-dioxid-egyenértékben (CO<sub>2</sub>e) kifejezve a mérnöki pontosság határai belül (a hő előállításakor  $\pm 7,5$  %-ot – 1. meghatározási szint –, illetve  $\pm 2,5$  % – 3. meghatározási szint vehetünk figyelembe az adatok bizonytalansága miatt).

## Villamos energia felhasználással összefüggő CO<sub>2</sub> kibocsátás

A vállalatok éves szinten jól mérhető mennyiségű villamos energiát (úgynevezett szekunder energiahordozót) használnak a termelés, vagy az azzal összefüggő folyamatok során. Az ehhez kapcsolódó szén-dioxid kibocsátás nem közvetlenül a vállalatnál történik, tehát egy közvetett kibocsátásról beszélhetünk, melyet a magyarországi kibocsátási tényező segítségével lehet meghatározni.

<sup>2</sup> EURÓPAI BIZOTTSÁG: A BIZOTTSÁG 601/2012/EU RENDELETE (2012. június 21.) A Bizottság 601/2012/EU rendelete (2012. június 21.) az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának a 2003/87/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvnek megfelelő nyomon követéséről és jelentéséről



A villamos energiára vonatkozó kibocsátási tényező értéke, országonként és évenként eltérő. Az elmúlt években számos irodalmakban és jelentésekben különböző értékek láttak napvilágot, ezézt ezekből néhány fontosabbat az alábbiakban közlünk:

- 2010-ben kiadott „A fenntartható energiával kapcsolatos cselekvési tervhez (SEAP) kapcsolódó formanyomtatvány” útmutatójának technikai mellékletében az alábbi értékek találhatóak:
  - Szabványos kibocsátási tényező: 0,566 tCO<sub>2</sub>/MWh;
  - LCA (Life Cycle Assessment, életciklusra vetített) kibocsátási tényező: 0,678 tCO<sub>2</sub>e/MWh<sup>3</sup>
- A fent szereplő 0,566 tCO<sub>2</sub>/MWh-a értéket adták meg irányadó értéknek az IEE 2013 dokumentumában is.<sup>4</sup>
- Számos energetikai szakreferenci jelentésben és vállalatoknak készített tanulmányokban (2017–2020 között) találkozhatunk számításokkal, melyek jellemzően 0,32–0,35–0,37 tCO<sub>2</sub>e/MWh<sub>e</sub> értéket használnak Magyarországon.
- Egy 2018-as nemzetközi kiadványban<sup>5</sup> 0,3040 tCO<sub>2</sub>e/MWh-al kalkulálnak.
- 2019-es Carbon Footprint kiadványban 0,314 kgCO<sub>2</sub>e/kWh-t kapunk.<sup>6</sup>
- Interaktív online felületeken a pillanatnyi állásotól függően 0,25–0,31 kgCO<sub>2</sub>e/kWh értékkel találkozhatunk, de bruttó termelési adata vonatkozóan.<sup>7</sup>

A fentiek alapján elmondható, hogy a kibocsátási tényezők nagymértékű eltéréseket mutatnak. Az ilyen nagymértékű változásokat nem lehet indokolni a villamos energia előállításán belüli megújuló energia térnyerésével.

Az adatok bizonytalansága miatt saját kalkulációkat/számításokat végeztünk 2019-es (jelenleg ezen adatok a megbízhatóak) adatokkal, amiket az alábbiakban ismertetünk:

1. kalkulációs lehetőség: 2019-ben bruttó 33.518 GWh<sup>8</sup> villamos energia termelés történt Magyarországon, melyből 27.469 GWh előállítása valósult meg nagyerműveknél (>50MWe). Nagyerművekhez összesen 8,31 millió tonna CO<sub>2</sub> kibocsátás<sup>8</sup> társult, mely alapján ezeken a helyeken 1kWh villamosenergia előállítása során átlagosan 0,303 kg szén-dioxid kibocsátás történt. Figyelembe véve a bruttó és nettó termelési értékek közötti arányt (melyek közötti különbséget a termelő egység önfogyasztása generálja), 0,323 kgCO<sub>2</sub>/kWh-val számolhatnánk, azonban a nettó fogyasztási értékeket (hiszen a hálózati veszteség is fontos tényező, ha a felhasználói oldal kibocsátási tényezőjét szeretnénk meghatározni) figyelembe véve 0,348 kgCO<sub>2</sub>/kWh érték áll közelebb a valósághoz. Jelenleg tehát, ezen MAVIR által szolgáltatott adatok tekinthetők a legfrissebbnek. Korábbi években a MAVIR adatai alapján a kibocsátás ~0,3 – 0,4 kgCO<sub>2</sub>/kWh között változott, így elmondható, hogy a 2019-es év kapcsán számított érték megfelelőnek mondható. Ezt az értéket azonban nagyban befolyásolja még az, hogy a Magyarországon felhasznált villamos energia és az importenergia aránya 27%<sup>8</sup> volt 2019-ben, valamint az, hogy az 50 MWe-nál kisebb teljesítményű erőművek kapcsán nem állnak rendelkezésre MAVIR által publikált szén-dioxid kibocsátási értékek. A különböző országokból bejövő villamos energiához társított kibocsátási tényező értékei eltérőek, így szintén bizonytalan-

<sup>3</sup> [https://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/technical\\_annex\\_en.pdf](https://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/technical_annex_en.pdf) (megtekintés: 2022. 06. 18.)

<sup>4</sup> Intelligent Energy Europe: Guidelines for the calculation of the IEE Common Performance Indicators (CPIs); March 2013; <https://ec.europa.eu/easme/sites/easme-site/files/guidelines-iee-common-performance-indicators.pdf> (megtekintés: 2022. 06. 18.)

<sup>5</sup> Carbon Footprint Ltd. által közölt kiadvány és Association of Issuing Bodies (AIB) adatok alapján: [https://www.carbonfootprint.com/docs/2018\\_8\\_electricity\\_factors\\_august\\_2018\\_-\\_online\\_sources.pdf](https://www.carbonfootprint.com/docs/2018_8_electricity_factors_august_2018_-_online_sources.pdf) (megtekintés: 2022. 06. 18.)

<sup>6</sup> [https://www.carbonfootprint.com/docs/2019\\_06\\_emissions\\_factors\\_sources\\_for\\_2019\\_electricity.pdf](https://www.carbonfootprint.com/docs/2019_06_emissions_factors_sources_for_2019_electricity.pdf) (megtekintés: 2022. 06. 18.)

<sup>7</sup> <https://app.electricitymap.org/zone/HU/>; <https://www.nowtricity.com/country/hungary/> (megtekintés: 2022. 06. 18.)

<sup>8</sup> MAVIR Zrt: Magyar Villamosenergia-rendszer (VER) 2019. évi adatai alapján (Data of The Hungarian Electricity System 2019)

ságot eredményeznek és erre vonatkozó adatok nem állnak rendelkezésre hiteles formában, így feltételezzük, hogy átlagban közel azonos kibocsátási paraméterekkel rendelkező villamos energia importálása történik a környező országokból is. A kiserőművi tartományban (melyekkel 6.049 GWh energiát állítottak elő és 50 MWe alatti, de háztartásinál nagyobb méretű egységek) többek közt megújuló energiaforrások is vannak. Figyelembe véve, hogy a megújuló energiaforrások esetében alacsonyabb kibocsátás tényezők vehető figyelembe<sup>9</sup>, így a műszaki becslések és a megújulók részaránya alapján elmondható, hogy a magyar villamosenergia-felhasználás során figyelembe vehető kiinduló érték 0,26 kgCO<sub>2</sub>/kWh körülire tehető.

3. táblázat: Bruttó villamosenergia termelési mix alapján meghatározott CO<sub>2</sub>e értékek  
Table 3: The CO<sub>2</sub>e values determined by based on the gross electricity production mix

Energiahordozó	Bruttó villamosenergia termelés 2019	LCA alapú kibocsátási értékek	Forrás
	GWh	gCO <sub>2</sub> e/kWh	
Nukleáris	16288	12	IPCC 2014
Szén és széntermékek	4184	820	IPCC 2014
Földgáz	8566	490	IPCC 2014
Kőolajtermékek	70	650	UK POST 2014
Biomassza	1769	230	IPCC 2014
Biogáz	318	230	IPCC 2014
Kommunális hulladék megújuló része	137	700	<a href="https://app.electricitymap.org/zone/HU">https://app.electricitymap.org/zone/HU</a>
Víz	219	24	IPCC 2014
Szél	729	11	IPCC 2014
Nap	1497	45	IPCC 2014
Geotermikus	18	38	IPCC 2014
Egyéb	359	700	<a href="https://app.electricitymap.org/zone/HU">https://app.electricitymap.org/zone/HU</a>
Összesen	34154	–	
Súlyozott átlag	–	257	

Mivel a hivatalos statisztikák nem nevesítik, hogy egyenértékű CO<sub>2</sub> kibocsátásról van-e szó, ezért az ebből fakadó növekmény meghatározásához egy korábban már említett dokumentum („A fenn tartható energiával kapcsolatos cselekvési tervhez (SEAP) kapcsolódó formanyomtatvány”) alapján számítható arányt használtuk fel. A 0,678/0,566 arányt figyelembe véve esetünkben az egyenértékű kibocsátási tényező 0,357 tCO<sub>2</sub>e/MWh-ra adódik a 0,26 kgCO<sub>2</sub>/kWh kiinduló értéket, valamint az erőművi önfogyasztást (bruttó, nettó termelési érték közötti különbséget), valamint a hálózati veszteséget (termelés és felhasználás közötti különbözőség) is alapul véve. Ez az érték megfelelően illeszkedik az irodalmakban és hivatalos jelentésekben közölt értékekhez.

**2. kalkulációs lehetőség:** A MEKH adatait<sup>10</sup> felhasználva megvizsgálhatjuk a bruttó villamosenergia termelésünk során bevont energiahordozók részaránya alapján történő kibocsátást is (Itt meg kell

<sup>9</sup> [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_annex-iii.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf) (megtekintés: 2022. 06. 18.)

<sup>10</sup> <http://mekh.hu/eves-adatok> (megtekintés: 2022. 06. 18.)

jegyezni, hogy kismértékű eltérés van a MEKH és a MAVIR kiadványában szereplő összesített adatok között, mely az adatok véglegesítéséből fakad.

Ha a 0,257 tCO<sub>2</sub>e/MWh értéken felül figyelembe vesszük még a bruttó és a nettó termelési értékek közötti arányt, valamint a hálózati veszteséget, akkor az egyenértékű kibocsátási tényező 0,295 tCO<sub>2</sub>e/MWh-ra adódik.

A kalkulált tényezők konklúziója: Látható, hogy a számított értékek között is jelentős különbség adódhat, ami a bemenő adatok, valamint az energetikai és a környezetvédelmi mutatók körüli bizonytalanságából ered. Ennek megfelelően akkor járunk el a legbiztosabban, ha az általunk számolt két érték átlagával vesszük figyelembe a későbbi számításainkat. Ennek megfelelően az egyenértékű kibocsátási tényező 0,326 tCO<sub>2</sub>e/MWh-ra adódik Magyarországon a 2019-es év vonatkozásában. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy az adatok időben és térben nagy szórást mutatnak.

## Hő előállítással összefüggő CO<sub>2</sub> kibocsátás

A technológiai (pl. szárítás, préselés) és infrastrukturális hőigények (pl. csarnokok és irodák fűtése) fedezésére a vállalatok többségénél földgázt és/vagy dendromassza alapú energiahordozókat használ fel, melyek hővé történő átalakítását a telephelyen végzik. A tüzelésből származó CO<sub>2</sub> kibocsátás meghatározása a következő (2) általános képlet segítségével történik:

$$\text{CO}_2 \text{ kibocsátás [tCO}_2\text{]} = \text{tevékenységi adat kibocsátási tényező oxidációs tényező} \quad (2)$$

*Tevékenységi adat:* a tüzeléshez felhasznált tüzelőanyagok mennyisége energiatartalommal kifejezve (TJ), valamint a termelésbe bevitt alap- és segédanyagok, illetve a termelést jellemző termékek mennyisége (pl. tonna fa/év) lehet. Energiatartalommal történő meghatározásában az alábbi (3) képlet nyújt segítséget:

$$\text{Energiatartalom [TJ]} = \text{felhasznált tüzelőanyag mennyisége [t, vagy m}^3\text{]} \cdot \text{tüzelőanyag (nettó) fűtőértéke [TJ/t, vagy TJ/m}^3\text{]} \quad (3)$$

Az országspecifikus tüzelőanyag oxidációs tényezőt 1-nek vehetjük fel a jelenlegi jogi szabályozás alapján<sup>11</sup>

## Földgáz felhasználással összefüggő CO<sub>2</sub> kibocsátás

A földgáz felhasználása esik talán az egyszerűbb megítélés alá, mivel fosszilis energiahordozó lévén nem tekintjük CO<sub>2</sub> semleges energetikai alapanyagának. A villamos energiánál bemutatott kibocsátási tényezők itt is fellelhetők, azonban itt már sokkal egyértelműbb értéket kapunk, hiszen nem egy szekunder energiahordozóról beszélünk, hanem egy primerről, melyhez kapcsolódó energetikai

<sup>11</sup> 410/2012. (XII. 28.) Korm. rendelet az üvegházhatású gázok közösségi kereskedelmi rendszerében és az erőfeszítés-megosztási határozat végrehajtásában való részvételről szóló 2012. évi CCXVII. törvény végrehajtásának egyes szabályairól.



adatok többé-kevésbé állandónak, azonosnak tekinthetők a világ bármely részén. Az 601/2012/EU bizottsági rendelete lehetővé teszi országspecifikus fűtőérték és kibocsátási tényező alkalmazását. Az alábbi táblázat (4. táblázat) a 410/2012. (XII. 28.) Korm. rendelet 5. mellékletben és a 601/2012/EU bizottsági rendelet VI. melléklet 1. pont 1. táblázatában található értékeket veszi alapul.

4. táblázat: *Néhány jellemző tüzelőanyag fűtőértéke és kibocsátási tényezője*<sup>12</sup>  
Table 4: *The calorific value and the emission factors of the some typical fuels*<sup>12</sup>

Tüzelőanyag	Fűtőérték	Kibocsátási tényező
		tCO <sub>2</sub> /TJ
Tűzifa, fa "hulladék"	15,6 MJ/kg <sup>a</sup>	110–120 <sup>b</sup>
		0 <sup>c</sup>
Fűtőolaj	42 MJ/kg	74,1
Benzin	44,3 MJ/kg <sup>a</sup>	69,3 <sup>a</sup>
Dízel	43 MJ/kg <sup>a</sup>	74,1 <sup>a</sup>
Földgáz – 15 °C, 1013,25 hPa	34 MJ/m <sup>3</sup>	56,1
Földgáz – 0 °C, 1013,25 hPa	35.87 MJ/m <sup>3</sup>	
LPG	47,3 MJ/kg <sup>a</sup>	63,1 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> A jelölt adatok forrása a rendelet iránymutatása alapján: Európai Bizottság 601/2012/EU rendelete<sup>13</sup>

<sup>b</sup> Irodalmi adatok és a fa égésével összefüggő sztöchiometria egyenletek alapján figyelembe véve, ha úgy kalkulálunk, hogy a biomassza tüzelés nem tekinthető semlegesnek

<sup>c</sup> A tiszta biomassza tüzelőanyagokat nulla kibocsátási tényezővel kell figyelembe venni

<sup>a</sup> Source of the candidate data based on the guidelines of the regulation: European Commission Regulation 601/2012/EU<sup>13</sup>

<sup>b</sup> Based on the literature data and the stoichiometry equations related to the wood burning, if we calculate that the biomass burning cannot be considered neutral

<sup>c</sup> The clean biomass fuels shall be the considered with a zero emission factor

A földgáz kibocsátási tényezőjére tehát 56,1 tCO<sub>2</sub>/TJ (0,202 gCO<sub>2</sub>/MJ) értéket vehetünk fel a számítások során.

## A dendromassza energetikai hasznosításával összefüggő CO<sub>2</sub> kibocsátás

Dendromassza esetén biológiai eredetű energiahordozóról beszélünk, mely alatt alapvetően az összes erdei, fás szerves anyag halmazt értjük, vagyis azt az élőfa készletet, melybe a föld alatti és föld feletti részt is beleértjük. Hagyományosan azonban, ha dendromasszáról van szó, és annak energetikai hasznosításáról, akkor értelemszerűen elsősorban a föld feletti dendromasszáról kell beszélnünk, mivel a föld alatti dendromassza (tuskó, gyökérzet) energetikai hasznosításának lehetősége még nem igazán megoldott.

<sup>12</sup>410/2012. (XII. 28.) Korm. rendelet az üvegházhatású gázok közösségi kereskedelmi rendszerében és az erőfeszítés-megosztási határozat végrehajtásában való részvételről szóló 2012. évi CCXVII. törvény végrehajtásának egyes szabályairól

<sup>13</sup>Európai Bizottság 601/2012/EU rendelete: az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának a 2003/87/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvnek megfelelő nyomon követéséről és jelentéséről (<https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0601&from=ET>) (megtekintés: 2022. 06. 18.)



Sokszor találkozhatunk azzal a gondolattal, hogy a fa energetikai előkészítése, felhasználása során felszabaduló CO<sub>2</sub> plusz terhelést nem ró a környezetre, hiszen a fa hőhasznosítása (közvetlen tüzelés, elgázosítás) „CO<sub>2</sub> semlegesnek” mondható. Ez a fajta semlegesség feltételezés még a tudományos berkeket is megosztja.

A dendromassza alapú energiahordozók előállítás (vagy épp keletkezése) esetén is bizonyos mértékű energiefelhasználás történik. Ezek alapján azt is látnunk kell, hogy alapból, lokálisan ezen folyamatok CO<sub>2</sub> kibocsátással járnak, így a dendromassza alapú energetikai alapanyagok esetén is csak fenntartásokkal kezelhető a CO<sub>2</sub> semlegességének kérdése. Reálisabb az a megállapítás, miszerint a fa közel CO<sub>2</sub> semlegesnek tekinthető. Kijelenthető viszont, hogy a fosszilis és fisszilis energiahordozókhöz képest jóval környezetkímélőbb módon tudjuk előállítani a faalapú energetikai nyersanyagunkat.

A fatüzelés során legtöbbször a szén-dioxid meghatározáskor a széntartalomtól indulunk ki. Általánosan elmondható, hogy a faanyag elemi összetétele: 50% szén, 43% oxigén, 6% hidrogén, 1% nitrogén és egyéb ásványi anyagok (Zimmer & Wegener 1996). A faanyagok égetése során további tényként kell kezelni, hogy a fák nem olyan ütemben növekednek és veszik fel a légkörből a szén-dioxidot, mint ahogy energetikai felhasználás során azt kibocsátják. Összességében tehát a fatüzelés, fából történő energia előállítás nem lesz CO<sub>2</sub> semleges, de a fa elégetésével kibocsátott szén-dioxid nagy részét a fa CO<sub>2</sub> megkötő képessége ellensúlyozza, amennyiben az elégetett famennyiséggel egyenértékű, vagy annál több fanövekmény keletkezik. EU-s iránymutatás alapján<sup>14</sup> „a biomassza kibocsátási tényezője nulla, amennyiben tartamos erdőgazdálkodásra létrehozott tanúsítási rendszereket alkalmazó erdőkből származó faanyag felhasználásáról van szó”. A fatüzelés során azonban célszerűbb a nettó CO<sub>2</sub> kibocsátást vizsgálni, mely abban különbözik a hagyományos CO<sub>2</sub> kibocsátástól, hogy a fotoszintézis során felvett szén-dioxid levonásra kerül a teljes – a tüzelés és egyéb folyamatok során távozó – kibocsátott szén-dioxid értékéből.

Saját kutatási tapasztalataink és korábbi felmérésünk alapján megállapítható, hogy egységi villamos energia előállításához mintegy 2,4-szer több bevitt energiára (faalapú tüzelőre) van szükség, mint hőelőállítás során, ha az átlagos villamos energia előállítás hatásfokát 35%-kal, és a hőtermelést 85%-kal vesszük figyelembe. Ennek megfelelően az alább megadott kibocsátási értékek átszámíthatók és elemezhetők a hőfelhasználás oldaláról az alábbiak szerint:

1. A Környezetvédelmi Ügynökség<sup>15</sup> megállapította, hogy a bioenergiából származó villamos energia szén-dioxid kibocsátása általában – de nem mindig – alacsonyabb, mint a legkisebb szén-dioxid kibocsátásuként nyilvántartott, fosszilis tüzelőanyagot használó gázüzemű CCGT (combined-cycle gas turbine = kombinált ciklusú gázturbina) esetében. Például a rövid vágás-idejű energetikai faültetvényekről származó aprítékból előállított villamos energia becsült szénlábnyomata 60–270 gCO<sub>2</sub>e / kWh,<sup>16</sup> ami minden esetben alacsonyabb, CCGT esetében kapott 365 gCO<sub>2</sub>e / kWh érték.
2. Egy korábbi külföldi jelentésben<sup>17</sup> azt mutatták be, hogy a közvetlen égés két alternatívája – elgázosítás és pirolízis – által termelt villamos energia alacsonyabb szénlábnyommal vehető szá-

<sup>14</sup> Az Európai Bizottság 601/2012/EU rendelete üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának a 2003/87/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvnek megfelelő nyomon követéséről és jelentéséről

<sup>15</sup> Houses of Parliament; Parliamentary Office of Science & Technology: Carbon Footprint of Electricity Generation; Number 383 June 2011

<sup>16</sup> Bates J. et al., 2009, Minimising greenhouse gas emissions from biomass energy generation

<sup>17</sup> Elsayed et al., 2003, Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options

mításba. Az erdészeti maradékanyagokból, vagy a rövid vágásfordulóú ültetvényekről származó faanyag gázosításából származó villamos energia esetében a szén-dioxid lábnyomok 25 gCO<sub>2</sub>e / kWh-ot tettek ki.<sup>18</sup>

3. Kanadai<sup>19</sup> adatok közvetlenül hő előállítást mutatták be 2013-ban: 110 kgCO<sub>2</sub>e/tonna biomassza, azaz 0,03 kgCO<sub>2</sub>e/kWh nettó kibocsátást feltételeztek biomasszából történő hőelőállítás során.
4. A brit kormány a biomasszából történő villamos energia előállításakor az alábbi táblázat (5. táblázat) kibocsátási tényező értékeit veszi figyelembe.

5. táblázat: Biomassza alapú villamos energiatermelésnél figyelembe vett szén-dioxid kibocsátása az UK-ban (DEFRA<sup>20</sup> adatok )<sup>21</sup>

Table 5: The carbon emissions from the biomass electricity generation in the UK (DEFRA<sup>20</sup> data)<sup>21</sup>

Tüzelőanyag	Egység	kg CO <sub>2</sub> e
Farönk	tonna	61,523
	kWh	0,015
Faforgács	tonna	56,881
	kWh	0,015
Fapellet	tonna	70,473
	kWh	0,015

Ha ezeket az adatokat átszámítjuk, akkor jellemzően 1,7–8 tCO<sub>2</sub>e/TJ közötti értékeket kapunk. Ez alapján elmondható, hogy a fenti irodalmi értékek meglehetősen eltérőek.

A faalapú energetika alapanyagok EROEI (Energy Returned On Energy Invested) értékének meghatározására irányuló korábbi kutatásunk alapján (Németh 2014) Magyarországon várhatóan mintegy 2–4 tCO<sub>2</sub>e/TJ nettó kibocsátással számolhatunk (hasított, valamint erdőről és ültetvényről származó aprított tűzifa esetén). Figyelembe véve a saját kutatási eredményeinket a faalapú energetikai alapanyagok kibocsátása esetében reálisan 4 tCO<sub>2</sub>e/TJ értéket célszerű figyelembe venni.

## Üzemen belüli anyagmozgatásból és közlekedésből fakadó CO<sub>2</sub> kibocsátás

Tapasztalataink alapján megállapíthatjuk, hogy a villamos energia felhasználásához és a hő előállításához képest – a benzin, gázolaj, PB alapú – üzemanyag felhasználást tekintve a faiparban elenyésző mértékű kibocsátásról beszélünk a belső logisztika kapcsán. Legtöbb esetben maximum 1–2%-os mértékről beszélhetünk az úgynevezett „CO<sub>2</sub> kibocsátás mix”-en belül. A termékenkénti

<sup>18</sup> Houses of Parliament; Parliamentary Office of Science & Technology: Carbon Footprint of Electricity Generation; Number 383 June 2011

<sup>19</sup> [https://www.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-2012/682-2012\\_Appendix\\_H\\_WSTP\\_South\\_End\\_Plant\\_Process\\_Selection\\_Report/Appendix%207.pdf](https://www.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-2012/682-2012_Appendix_H_WSTP_South_End_Plant_Process_Selection_Report/Appendix%207.pdf) (megtekintés: 2022. 06. 20.)

<sup>20</sup> Department for Environment Food & Rural Affairs: UK Government GHG Conversion Factors for Company Report in (2018) (<https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting#conversion-factors-2018>) (megtekintés: 2022. 06. 20.)

<sup>21</sup> <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2018> (megtekintés: 2022. 06. 20.)



felosztás itt már annyira sem számítható, mint a villamos energia és hő kapcsán, így a termelt alapanyag mennyiségének segítségével a teljes üzemre vonatkozóan számolt fajlagos átlagot célszerű figyelembe venni.

KPI 3: A legtöbb vállalat célul tűzte ki, hogy a forgalom növekedése mellett csökkentse a szén-dioxid-kibocsátását. Ehhez azonban szükség van olyan mérőszámra, amely az időszakok eredményeit összehasonlíthatóvá teszi. Egy ilyen mérőszám például az egy tonna eladott termékre jutó szén-dioxid-kibocsátás. Meghatározásához szükség van az adott időperiódusra vonatkozó, a vállalat által értékesített termékek mennyiségére, mely alapján a KPI 3 az alábbiakban számítható (4. képlet):

$$\text{KPI 3} = \frac{(\text{KPI 1 vagy KPI 4}(\text{tCO}_2 \text{ e}) + \text{KPI 2}(\text{tCO}_2 \text{ e}))}{(\text{Termékvolumen (tonna)})} \cdot 1000, \quad [\text{kgCO}_2 \text{ e/tonna}] \quad (4)$$

KPI 4: Célja, hogy nyomon követhetővé és ezáltal menedzselhetővé váljon a kimenő (elsődleges és másodlagos) szállítás energiafelhasználásának hatékonysága. A kiszámításhoz szükséges az elsődleges (vállalat és raktár közti), valamint a másodlagos (raktár és vevő közti) szállítás energiafelhasználásából adódó kibocsátás. A vizsgált időszakra a szállítás hatékonysága meghatározható az alábbiakban (5. képlet):

$$\text{KPI 4} = \sum \text{távolság (km)} \cdot \text{jármű teherbírás (tonna)} \cdot \text{kf}_{\text{sz}} (\text{kgCO}_2 \text{ e/tkm}), \quad [\text{kgCO}_2 \text{ e}] \quad (5)$$

## ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben a faipar hő-, és villamosenergia-felhasználásból adódó szén-dioxid kibocsátásokat, valamint az üzemi logisztikai folyamatokhoz kapcsolódó szén-dioxid kibocsátásokat vizsgáltuk és elemeztük. Ismertettük az üvegházhatású gázok környezetre gyakorolt hatásai, kiemelt figyelmet fordítva ezen gázok szén-dioxid-egyenértékben történő megadására. Ehhez ún. konverziós faktorokat adtunk meg a logisztikára (áruszállítás), valamint az ipari hő-, és villamosenergia felhasználására vonatkozóan irodalmi adatok és saját számítási eredményeink, szakmai tapasztalataink alapján. Kidolgoztunk egy szénlábnyom-elemzési módszertant, ami segítségével vállalati szinten meghatározható és menedzselhető a CO<sub>2</sub>-kibocsátás. Az általunk megadott faktorok Magyarországi viszonylatban alkalmazhatók a közúti áru fuvarozás, az ipari villamosenergia és hőfelhasználás, valamint a dendromassza energetikai hasznosításából származó szén-dioxid-egyenértékek (CO<sub>2</sub>e) számítására.

Kutatásunk következő szakaszában konkrétan, az egyes faipari ágazatokra jellemzően végünk termékcsoportonként a teljes ellátási láncra kiterjedő részletes szénlábnyom-elemzést az itt ismertetett adatok és módszertan felhasználásával, kiegészítve mindezt a különböző faipari termékekhez kapcsolódó egyéb specifikus anyagok (pl. alumínium, üveg, ragasztó, festék, lakk... stb.) szénlábnyom elemzésével.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„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

- Alan B. 2019: NASA's Jet Propulsion Laboratory: The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide. NASA. Global Climate Change, 2019. október 9.
- Barna Zs. & Gelei A. 2014: A szénlábnym mérése – Fókuszban a közúti áruszállítás és raktározás. Vezetéstudomány – Budapest Management Review, 45. (2014), 7–8. 53–68. Online: <http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/1667/>
- Cuthbertson R. 2011: The need for sustainable supply chain management. in: Cetinkaya, B. – Cuthbertson, R. – Ewer, G. – Klaas-Wissing, T. – Piotrowicz, W. – Tyssen: Sustainable Supply Chain Management. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag
- Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA): Online: [www.eea.europa.eu/hu](http://www.eea.europa.eu/hu) (megtekintés: 2022.06.12.)
- Európai Parlament 2019: Amit érdemes tudni a gépjárművek szén-dioxid-kibocsátásáról az EUban. Online: [https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20190313STO31218/ami\\_erdemes-tudni-a-gepjarmuvek-szen-dioxid-kibocsatasarol-az-eu-ban](https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20190313STO31218/ami_erdemes-tudni-a-gepjarmuvek-szen-dioxid-kibocsatasarol-az-eu-ban) (megtekintés: 2022.06.15.)
- IPCC 2014: A Kiotói Jegyzőkönyvből eredő 2013-as felülvizsgált kiegészítő módszerek és helyes gyakorlati útmutató, Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M. & Troxler T.G. (eds.) Megjelent: IPCC, Switzerland
- Központi Statisztikai Hivatal (KSH): Évközi adatok, 2021 – Szállítás, közlekedés. Online: <https://www.ksh.hu/> (megtekintés: 2022.06.17.)
- Kuti R. 2019: A globális felmelegedés hatására kialakuló szélsőséges időjárási jelenségek megjelenési formái és következményei Magyarországon. In: Földi László & Hegedűs Hajnalka (eds.): Adaptációs lehetőségek az éghajlatváltozás következményeihez a közszolgálat területén. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem
- Lee K-H. 2011: Integrating Carbon Footprint into supply chain management: the case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry. Journal of Cleaner Production 19: 1216–1223.
- Mckinnon A.C. & Pieczyk M. 2010: CO<sub>2</sub>-kibocsátás mérése és kezelése az európai vegyipar-szállításban. CEFIC.
- Mohamed A. et al. 2019: Driving factors of CO<sub>2</sub> emissions and nexus with economic growth, development and human health in the Top Ten emitting countries. Resources, Conservation & Recycling 148: 157–169. Online: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.048>
- Network for Transport Measures database: Online: <https://www.transportmeasures.org/en/> (megtekintés: 2022. 06. 12.)
- Németh G. 2014: Decentralizált dendromassza alapú kiserőművek, falufűtőművek elterjedését támogató kutatások” című projekt féléves záró szakmai beszámolója.
- Schaltegger S. & Csutora M. 2012: Carbon Accounting for sustainability and management. Journal of Cleaner Production 36(11): 1–16. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612003186> (megtekintés: 2022. 06. 12.)
- Sós N. E. 2021: A szén-dioxid (CO<sub>2</sub>) környezetkárosító hatása és keletkezése az áruszállítási folyamatok során (The Environmental Impact of Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) and its Formation during Freight Transport Processes). Műszaki Katonai Közlöny 31(2): 53–67. <https://doi.org/10.32562/mkk.2021.2.5>
- Zimmer B. & Wegener G. 1996: Stoff- und Energieflüsse vom Forst zum Sägewerk. Holz als Roh- und Werkstoff 54(4): 217–233.

Érkezett: 2022.október 31.

Közlésre elfogadva: 2023. február 08.





### Tintahalgomba

Ameglehetősen sajátos, kissé ijesztő megjelenésű tintahalgomba (*Clathrus archeri*) a szömöröcsökfélék családjába (*Phallaceae*) tartozó szaprofita faj. Humid erdőszegélyeken, tisztásokon, bomló szerves anyagokon (korhadó fa, avar stb.) él. Spóráit nem a szél, hanem rovarok (elsősorban legyek) terjesztik, amiket rothadó húsról emlékeztető szagával csalogat magához. Eredeti hazája Tasmánia, de Ausztráliában és Új-Zélandon is őshonosnak tekintik. Európában először Franciaországban észlelték (1914), ma már Észak-Amerikából is ismert. Spórái valószínűleg Ausztráliából induló kereskedelmi szállítmányokkal szóródtak szét a világban. Példája jól érzékelteti, hogy a hatalmas mértékű (és folyamatosan növekvő volumenű) világkereskedelem „mellékhatásaként” gyakorlatilag kikerülhetetlenül eredményezi idegenhonos fajok behurcolását. Nálunk 1967-ben került elő. Leggyakrabban az Őrségben találkozhatunk vele, de a Zemplénből is ismertek előfordulásai. Ugyan nem mérgező, de penetráns szaga aligha sejtet gasztronómiai örömeket.

Fotó és szöveg: Csóka György (SOE ERTI)



## TARTALOMJEGYZÉK

### 12. ÉVFOLYAM 2. SZÁM

<i>Benke Attila, Köbölkuti Zoltán Attila, Cseke Klára, Borovics Attila és Tóth Endre György</i> <b>Szárazságtűrésben szerepet játszó SNP-k azonosítása kocsánytalan tölgy populációkban: Alapvetési eredmények a fenntartható tölgygazdálkodásért</b>	77–90
<i>Illés Gábor és Móricz Norbert</i> <b>Hazai fafajok klímaanalóg területeinek vizsgálata a klímaváltozás tükrében</b>	91–112
<i>Báder Mátyás és Komán Huba</i> <b>Különböző fafajok juvenilis korhatárának meghatározása matematikai modell segítségével</b>	113–119
<i>Korda Márton, Ripka Géza, Hirka Anikó és Csóka György</i> <b>Az <i>Aceria fraxiniflora</i> (felt) (Acari: eriophyoidea) gyors terjeszkedése és jelenleg ismert előfordulásai Magyarországon</b>	121–128

## CONTENTS

### VOL. 12 Nr. 2

<i>Attila Benke, Zoltán Attila Köbölkuti, Klára Cseke, Attila Borovics and Endre György Tóth</i> <b>Identification of SNP markers responsible for drought tolerance in sessile oak populations: Results of basic research for sustainable oak management</b>	77–90
<i>Gábor Illés and Norbert Móricz</i> <b>Investigating the climate analogue area of domestic tree species in the light of climate change</b>	91–112
<i>Mátyás Báder and Huba Komán</i> <b>Determining the juvenile age of different wood species using a mathematical model</b>	113–119
<i>Márton Korda, Géza Ripka, Anikó Hirka and György Csóka</i> <b>Rapid spread and presently known distribution of <i>Aceria fraxiniflora</i> (felt) (Acari: eriophyoidea) in Hungary</b>	121–128



### Szilágyi Erzsébet postása

A legenda szerint Szilágyi Erzsébet levelét egy holló vitte el fiának, a későbbi Mátyás királynak. Habár a történet hitelessége ilyen időtávlatban már nehezen igazolható, az biztos, hogy ilyen fontos küldetést nemigen szabadott volna más madárra bízni, tekintve, hogy a hollók a legintelligensebb madarak közé tartoznak. Gazdag viselkedési repertoárjukban a finom társas érintkezésektől kezdve, a rituális mozdulatsorokon át a vad verekedésekig számos elem megtalálható. Az egykoron ritka fajjal egyre gyakrabban és egyre több helyen találkozhatunk. Ősszel és télen egy-egy tetem környékén nagyobb csapatai is összegyűlnek. Az állománynövekedés több okkal is magyarázható. A mérgezett tojásokkal történő „dúvadirtás”, az erdősítések rágcsálók elleni vegyszeres védelmének visszaszorítása, a zsákmányos vad zsigereinek erdőben, erdőszélen való hagyása is jótékony hatással lehetett e nemes madárfaj népességére.

**Fotó: Selyem József (erdőmérnök, Darány), szöveg: Csóka György (SOE ERTI)**

# SZÁRAZSÁGTŰRÉSBEN SZEREPET JÁTSZÓ SNP-K AZONOSÍTÁSA KOCSÁNYTALAN TÖLGY POPULÁCIÓKBAN: ALAPKUTATÁSI EREDMÉNYEK A FENNTARTHATÓ TÖLGYGAZDÁLKODÁSÉRT

Benke Attila, Köbölkuti Zoltán Attila, Cseke Klára, Borovics Attila és Tóth Endre György

Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Nemesítési Osztály

## Kivonat

Állományalkotó fajaink genetikai állományban fellelhetők az alkalmazkodási folyamatok lenyomatai, amelyek fontos ismereteket szolgáltathatnak a klímaadaptációt segítő erdőművelési stratégiák meghatározásához. Jelen kutatásunk során 18 közép- és délkelet-európai kocsánytalan tölgy [*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.] populáció egyedeiben kimutatott SNP-k (egyponos nukleotid eltérések) és zárva-termő növények genomjában meghatározott, szárazságtűréssel kapcsolatba hozható szekvenciák kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) referencia genomra történő térképezését végeztük el, meghatározva így azon SNP-k csoportját, amelyek kapcsolatba hozhatók a szárazsági stresszválaszban szerepet játszó folyamatokkal. A kiugró  $F_{ST}$  értékkel bíró marker lokuszok és összesen 94 klimatikus változó bevonásával végzett regresszióanalízis során 16 erősen szignifikáns kapcsolatot mutattunk ki egyes génhelyek és néhány, csapadék vagy hőmérséklet alapú környezeti változó között. A szárazság szelekció alatt álló SNP-k kimutatása számos további, a fenntartható tölgygazdálkodást megalapozó kutatás alapját képezheti a jövőben.

**Kulcsszavak:** kocsánytalan tölgy, SNP marker, szárazság szelekció, genom-környezet asszociáció

## IDENTIFICATION OF SNP MARKERS RESPONSIBLE FOR DROUGHT TOLERANCE IN SESSILE OAK POPULATIONS: RESULTS OF BASIC RESEARCH FOR SUSTAINABLE OAK MANAGEMENT

### Abstract

The genetic information concerning the adaptation of main tree species to different environmental conditions could provide considerable knowledge to determine forest management responses to climate change. In the present study, we carried out a parallel mapping of SNP markers revealed in 18 Middle- and Southeast-European sessile oak [*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.] populations and EST sequences of stress-responsive loci downloaded from an EST repository to determine the group of those SNPs, which are associated with the genetic background of adaptation processes in oaks. Regression analysis revealed 16 significant correlations between four outlier SNP loci representing high  $F_{ST}$  values and 94 climatic variables. All variables with significant correlations were found to be related to precipitation or temperature. The stress-responsive loci identified in this study may serve as a basis for common research to support future sustainable management of sessile oak in Hungary.

**Keywords:** sessile oak, SNP markers, drought selection, genotype-environment association (GEA)

Levelező szerző/Correspondence:

Benke Attila, H-9600 Sárvár, Várkerület 30/A., E-mail: [benke.attila@uni-sopron.hu](mailto:benke.attila@uni-sopron.hu)



## BEVEZETÉS

A jellemzően közép-európai elterjedési súlyponttal bíró, és a szubmontán zónát előnyben részesítő kocsánytalan tölgy [*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.] a hazai dombvidéki és középhegységi erdőgazdálkodás legjelentősebb fafaja, faállományterülete az akácot és a csertölgyet követően a harmadik legnagyobb az országban (Keresztesi 1971, Majer 1972, Gencsi & Vancsura 1997, Nagy 2021). A mérsékelt melegigényes, mezofil jellegű, hazánkban elsősorban savanyú alapközeten előforduló fafaj kiemelkedő erdészeti jelentősége, valamint a csertölgyével közel azonos páraigénye miatt vált az erdészeti klímazónák tölgyes klímáinak klímajelző növényévé (Járó 1966, Járó 1972). Tekintettel arra, hogy hazánk klimatikus adottságainak változása az erdészeti klímazónák kiterjedését is befolyásolja, a kocsánytalan tölgy alkotta állományok növekedésének, összetételének, szerkezetének, egészségi állapotának, végső soron a fafaj hazai elterjedésének, erdőgazdálkodásunkban betöltött jelentőségének változásával is számolnunk kell a jövőben.

A klímaváltozás európai erdőkre gyakorolt hatásával számos tanulmány foglalkozott, előre jelezve, esetenként konstatálva is az egyes erdőzónák klímakövető elmozdulását, az erdőtársulások szerkezetének átalakulását, egyes fajok veszélyeztetettségének jövőbeni várható növekedését, valamint elterjedésének változását (Beckage et al. 2008, Stojanovich et al. 2014, Machar et al. 2017, Rubel et al. 2017, Chakraborty et al. 2021). A magyarországi vizsgálatok, összhangban a nemzetközi kutatási eredményekkel, jelentős változásokat jeleznek előre a hazai erdőállományok összetételét illetően. A klímaérzékeny állományalkotó fajok közül 2100-ig a bükk (*Fagus sylvatica* L.), valamint a kocsánytalan tölgy elterjedésének erőteljes változása várható az ország területén, az általuk dominált erdőállományok területének jelentős csökkenésével (Rasztovits et al. 2012, Czúcz et al. 2013, Móricz et al. 2013). Az erdészeti kutatásnak (beleértve az erdészeti genetikát is) egyik legfontosabb jelenkori feladata ezért megoldást találni a nagy területen várható erdőállapot leromlások megakadályozására, de legalábbis mérséklésére.

A molekuláris genetika és az erdészeti nemesítés közötti kapcsolat fontosságának hazai felismerése a nemzetközi kutatási eredményekkel összhangban már a múlt század végén megtörtént, kiemelve azon genetikai markerek fontosságát, amelyek kapcsolatba hozhatók egyes termőhelyi paraméterekkel (Ujváriné Jármay 1988), de felhívva a figyelmet az alkalmazkodóképességet meghatározó genetikai változatosság felmérésének fontosságára is (Mátyás 1999).

Két egyed genetikai állománya közötti különbség leggyakoribb formája a DNS egy bázisbeli eltérése, melynek angol nevének kezdőbetűiből alkotott mozaikneve az SNP (Single Nucleotide Polimorphism; Shastry 2009). Az SNP alapú genetikai markereket széleskörűen alkalmazzák a növénygenetikai kutatásokban, így többek között géntérképezésben, populációgenetikai vizsgálatokban és filogenetikai kutatásokban egyaránt (Rafalski 2002). Egyre szélesebb körű alkalmazásukhoz nagyban hozzájárult a nagy felbontóképességű – ezáltal több SNP kimutatására alkalmas – újgenerációs szekvenálási technikák fejlődése (Batley & Edwards 2007). E módszerek egyike az úgynevezett RAD-seq eljárás, amely az újgenerációs DNS szekvenálást és a restrikciós endonukleázokkal történő DNS darabolást ötvözi, és ezáltal nagyszámú SNP egyidőben, gyorsan és költséghatékonyan történő azonosítását teszi lehetővé (Baird et al. 2008). A módszer két endonukleáz szimultán alkalmazásán alapuló változatát (double digest vagy ddRAD-seq) alkalmazva készítették SNP adatbázist Tóth et al. (2021), 18 közép- és délkelet európai kocsánytalan tölgy populáció összesen 180 egyedét elemezve. Az említett vizsgálat nem csak

a kijelölt populációk genetikai diverzitásának feltárására nyújtott lehetőséget, de kiváló alapot biztosít a kocsánytalan tölgy különböző környezeti paraméterekhez való alkalmazkodásának, ezáltal jövőbeni elterjedésének elemzéséhez is. De ugyancsak ddRAD-seq módszert alkalmazva készítettek kutatók vörös tölgy (*Quercus rubra* L.) géntérképet (Konar et al. 2017), azonosítottak SNP markereket *Juniperus turbinata* Guss. fajon (García et al. 2018), illetve kocsányos (*Quercus robur* L.) és kocsánytalan tölgy közel a teljes areát lefedő populációinak egyedeiből (Blanc-Jolivet et al. 2020).

Jelen kutatásunk célja közép- és délkelet-európai kocsánytalan tölgy populációkban előző munkánk során azonosított SNP lokuszok különböző környezeti paraméterekkel való asszociáltatása volt, annak érdekében, hogy felfedjük, mely lokuszok állnak környezeti, elsősorban szárazság szelekció alatt. A környezeti szelekció által előidézett genetikai változások alkalmasak lehetnek az egyes populációk környezeti alkalmazkodóképességének értékelésére, ami a magyarországi kocsánytalan tölgy gazdálkodás jövőbeni, szaporítóanyag forrás oldaláról történő fejlesztéséhez nyújthat tudományos alapú segítséget.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

Munkánk során a *Quercus petraea* természetes elterjedési zónáján belül elhelyezkedő, eltérő klimatikus feltételek között tenyésző, elsősorban dél-kelet-európai populációk természetes eredetű, legalább középidős (70 év feletti) állományainak vizsgálatára törekedtünk. A vizsgálatokra összesen 18 populációt választottunk ki Bulgária, Magyarország, Románia, Szerbia, Bosznia-Hercegovina, Koszovó és Albánia területén, melyek mintázását 2019 során végeztük el (a mintagyűjtési helyek listáját az 1. táblázat tartalmazza, elhelyezkedésüket az 1. ábra szemlélteti). A választott markertípusra (SNP) tekintettel populációnként 10 egyedéről gyűjtöttünk friss levélmintákat (összesen 180 egyed mintázása történt meg), abból a megfontolásból, hogy nagyszámú marker együttes elemzése alacsony mintaszám (akár 6-8 egyed) esetén is alkalmas a populációkon belüli genetikai diverzitás felmérésére (Nazareno et al. 2017).

A kiválasztott állományokban, melyekben minden esetben a kocsánytalan tölgy volt az uralkodó faj, egymástól legalább 30 méter távolságban álló, felső lombkoronaszintbe tartozó egyedeket mintáztunk. Munkánk során törekedtünk a kocsánytalan tölgy fajcsoporton belül is a szűken értelmezett, *petraea* típusú egyedek mintázására, ugyanakkor állomány szinten természetesen előfordulhattak más, a tágan értelmezett kocsánytalan tölgy fajkomplexbe tartozó fajok is a kiválasztott területen, így például a Dalechamp-tölgy (*Quercus dalechampii* Ten.) vagy az erdélyi kocsánytalan tölgy (*Quercus polycarpa* Schur).

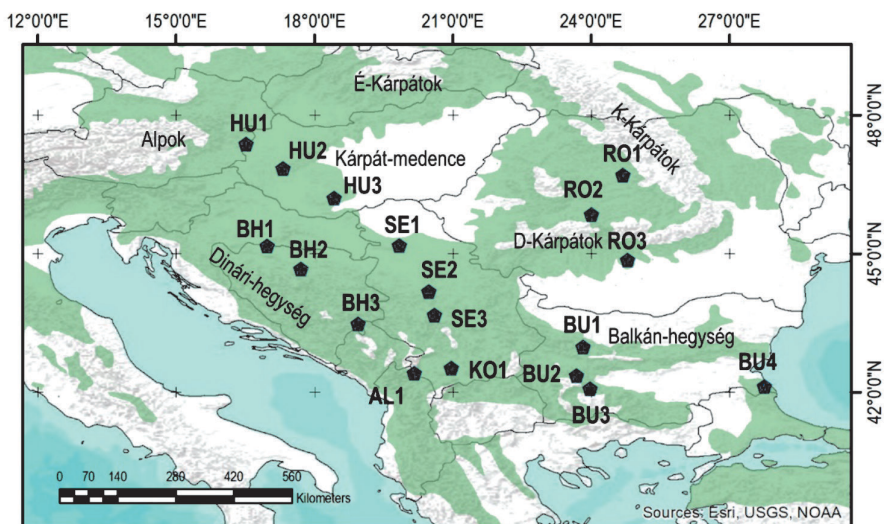
Az eltérő földrajzi régiókból származó mintákat ddRAD-tag szekvenálás (ddRAD-seq) alkalmazásával genotipizáltuk. A szekvenálás MiSeq Sequencing System (Illumina, San Diego, CA, USA) platformon történt, a gyártó protokollja alapján. A mintavételi stratégiáról és a genotipizálás menetéről részletes információ található Tóth et al. (2021) által közölt publikációban.



1. táblázat: A mintavételi helyek fontosabb földrajzi adatai (rövidítések: Bosznia-Hgv. – Bosznia-Hercegovina; Tszfm. – tengerszint feletti magasság)

Table 1: Geographical data of sampling sites (abbreviations: Bosznia-Hgv. – Bosnia and Herzegovina; Tszfm. – altitude)

Pop.	Ország	Helység	Földrajzi régió	Keleti szélesség	Nyugati hosszúság	Tszfm.
AL1	Albánia	Bajram Curri	Djeravica-hegy	42.407°	20.168°	454 m
BH1	Bosznia-Hgv.	Kozarska Dubica	Kozara-hegység	45.157°	16.979°	311 m
BH2	Bosznia-Hgv.	Teslic	Javorova-hegy	44.662°	17.706°	440 m
BH3	Bosznia-Hgv.	Foca	Maglic-hegy	43.476°	18.946°	985 m
BU1	Bulgária	Botevgrad	Balkan-hegység	42.980°	23.826°	601 m
BU2	Bulgária	Samokov	Rila-hegység	42.353°	23.686°	950 m
BU3	Bulgária	Velingrad	Rhodope-hegység	42.073°	23.977°	1172 m
BU4	Bulgária	Balgari	Strandzha-hegység	42.117°	27.766°	211 m
HU1	Magyarország	Kőszeg	Kőszeg-hegység	47.371°	16.524°	351 m
HU2	Magyarország	Vállus	Bakony-hegység	46.835°	17.319°	374 m
HU3	Magyarország	Zengővárkony	Mecsek-hegység	46.200°	18.432°	372 m
KO1	Kosзовó	Vershec	Sharr-hegység	42.513°	20.968°	787 m
RO1	Románia	Gernyeszeg	Görgényi-havasok	46.694°	24.692°	438 m
RO2	Románia	Kicsűr	Fogaras-hegység	45.839°	24.007°	508 m
RO3	Románia	Ciocăna	Fogaras-hegység	44.853°	24.793°	455 m
SE1	Szerbia	Fruška Gora	Fruska Gora-hegység	45.172°	19.839°	208 m
SE2	Szerbia	Kragujevac	Rudnik-hegység	44.172°	20.488°	578 m
SE3	Szerbia	Kraljevo	Stovoli-hegység	43.667°	20.603°	414 m



1. ábra: A vizsgált kocsánytalan tölgy populációk elhelyezkedése. Forrás: Tóth et al. 2021  
Figure 1: The location of sessile oak populations investigated. Source: Tóth et al. 2021



## Szekvenciák szerkesztése és térképezése

A vizsgálat során előállított mintegy 77 millió nyers ddRAD-tag szekvenciát a bioinformatikai feldolgozás során demultiplexeltük, a szekvenáláshoz használt adapter régiókat eltávolítottuk. A szekvenciák 3' és 5' végét FastQ Toolkit (MiSeq Control Software, San Diego, CA, USA) segítségével levágtuk. A rövid szekvencia olvasatok további feldolgozását Stacks 2.0 szoftverrel (Catchen et al. 2013, Rochette et al. 2019) végeztük. Első lépésben, a szekvenciákat Phred érték alapján (<90%) és úgynevezett csúszó-ablak módszerrel szűrtük, eltávolítva a szekvencia hossz 15%-nál rövidebb szekvenciákat. Ezt követően az olvasatokat 200 bp-ra vágtuk, ami előfeltétele volt a további feldolgozásnak. Az adatfeldolgozás e fázisában egy egyed (BU2-10) a további értékelésből kizártunk, lévén hogy esetében a szűréseket követően nem maradt elegendő számú, megfelelő minőségű szekvencia.

Az így nyert szekvenciákat a kocsányos tölgy esetében meghatározott referencia genomra (*Quercus robur*, PM1N [haploid version]; <http://www.oakgenome.fr>; Plomion et al. 2018) térképeztük (mapping) BWA-MEM v0.7.17 szoftver (Li 2013) segítségével, majd a térképezett szekvenciákból lókusztokat építettünk. Ezeket minőségi paraméterek alapján tovább szűrtük, egy további keresést lehetővé tevő, ún. 'query' adatbázist hozva ezáltal létre. Összességében hozzávetőleg 64 millió szekvenciát térképeztünk, átlagosan 92%-os sikerességgel.

## Lókusztok stressz-válasz annotációja

A korábbi lépésekkel párhuzamosan adatbázist építettünk a stresszválaszban szerepet játszó, rövid, átíródott szekvenciákból (EST; expressed sequence tags). Ehhez, a „rentrez” csomag (Winter 2017) segítségével R programban (R Core Team 2021) valódi kétszikűekben azonosított és szárazságstresszel összefüggésben lévő EST-eket töltöttünk le (598888 EST szekvenciát) az NCBI adatbázisból (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov>). A szekvenciákat szűrtük, majd szekvencia-kontigokat állítottunk elő az EGAssembler (Masoudi-Nejad et al. 2006) használatával. Ezt követően a lókusztokat kifejezetten a mRNS és EST szekvencia-térképezéshez tervezett GMAP szoftver segítségével *Quercus robur* genomra térképeztük (Wu & Watanabe 2005). A térképezésnél a „fajok közötti” opciót alkalmaztuk és a legnagyobb lefedettséget biztosító CDS (kódoló) szekvenciákat tartottuk meg. A térképezés eredményét minden egyed esetében az Integrative Genomics Viewer (IGV) szoftverrel ellenőriztük (Robinson et al. 2011).

## ddRAD-tag térképezés és variánskivonatolás

A CDS szekvenciákat a korábban referencia genomra térképezett ddRAD-tag szekvenciákkal egy ismételt térképezés során vetettünk össze. Erre a lépésre azért volt szükség, mert csak azokkal a lókusztokkal kívántunk tovább dolgozni, amelyek szárazságstresszel kapcsolatos genetikai folyamatokban játszanak szerepet. A kapott szekvenciákból a Stacks programmal lókusztokat rekonstruáltunk, majd a lókusztokban található nukleotid polimorfizmusokból katalógust készítettünk (Catchen et al. 2013, Rochette et al. 2019). E lépést a variánskivonatolás követte (variant calling), mely által



olyan SNP-eket kaptunk, amelyek kizárólag szárazság gének kódoló szekvenciáiban vannak jelen. Az SNP-eket  $MAF < 0,01$  és Hardy–Weinberg egyensúlytól való eltérés (HWE,  $p < 1e^{-16}$ ) alapján szűrtük (Xiong et al. 2009, Marees et al. 2018).

## Genetikai struktúra és diverzitás

A genetikai csoportokat a fastStructure v 1.0 szoftver Bayes-féle klaszterező algoritmusával határoztuk meg (Raj et al. 2014). A fastStructure alapértelmezett beállításokkal és 100-szoros keresztellenőrzéssel futott a 179 mintán, tesztelve az egyedek posterior valószínűségét minden becsült genetikai csoportban,  $K = 2$  és 9 között. Emellett R-ben főkomponens-analízist (PCA) is végeztünk a „hierfstat” és a „FactoMineR” csomagok segítségével (Goudet 2005; Lê et al. 2008).

A várható heterozigóciát ( $H_e$ ), a megfigyelt heterozigóciát ( $H_o$ ) valamint a beltenyésztési együtt-hatót ( $F_{IS}$ ) az „adegenet” R csomag segítségével minden egyes populációra és minden egyes genetikai klaszterre kiszámítottuk (Jombart & Ahmed 2011). Az egyedi allélok számát (PA) a „poppR” R csomag segítségével határoztuk meg (Kamvar et al. 2014). A populációk és klaszterek közötti genetikai differenciálódást  $F_{ST}$ -vel mértük (Nei 1973), amit a „hierfstat” csomag segítségével páronként számítottunk (Goudet 2005).

## $F_{ST}$ kiugró értékek (outlier-ek) azonosítása és környezeti asszociáció

A szelekció alatt álló SNP-k meghatározásához három eltérő kiugró érték (outlier) detektálási szoftvert használtunk ( $F_{ST}$  alapú és Bayes-féle algoritmuson alapulót egyaránt), az Arlequin (Excoffier et al. 2009), a BayeScan (Foll & Gaggiotti 2008) és a PCAdapt (Luu et al. 2017) implementációit. Az eredmények értékelésénél csak az együttesen szignifikáns eredmény esetében tekintettünk egy lókuszt szelekció alatt állónak. Az így azonosított SNP-eket környezeti változókkal asszociáltattuk (GEA; genotípus-környezet asszociáció). Ehhez 94, havi, szezonális és éves környezeti változót választottunk a WorldClim 1.4 és az ENVIREM 1.0 adatbázisokból (Hijmans et al. 2005, Title & Bemmels 2018). Emellett a környezeti változók PCA komponenseivel is bővítettük a bioklimatikus változók adatsorát. A teljes adatsort multikollinearitásra szűrtük ( $r^2 < 0.8$ ). Az elemzést négy regressziós módszerrel végeztük el [látens faktor kevert modell (Latent Factor Mixed Model – LFMM; Frichot et al. 2013, egytényezős varianciaanalízis (Single Factor Analysis of Variance – SFA), általánosított lineáris modell (General Linear Model – GLM), kevert lineáris modell (Mixed Linear Model - MLM); Bradbury et al. 2007). Az eredmények közül csak azt a kapcsolatot fogadtuk el, amely legalább három módszer esetében szignifikánsnak bizonyult.

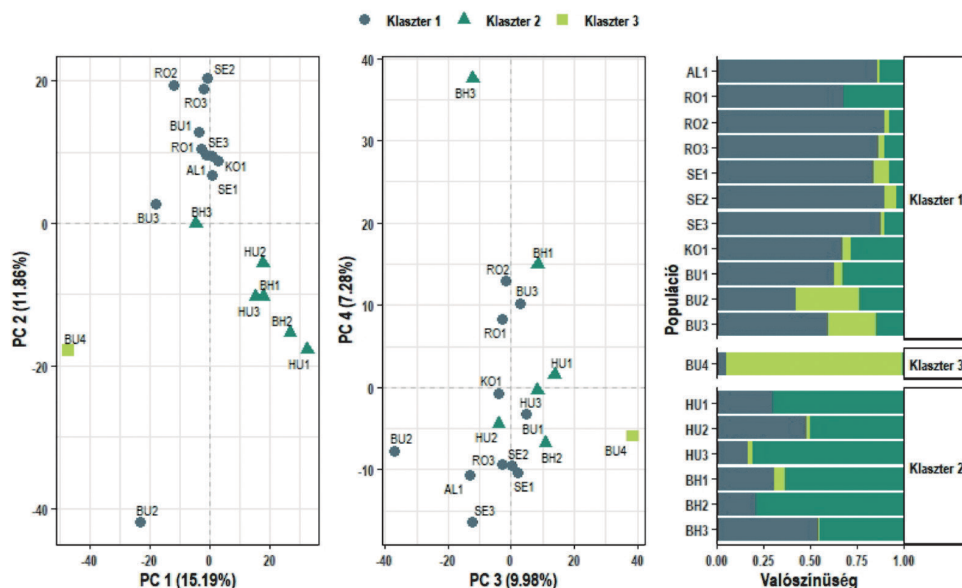
## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITÁSUK

Az Illumina szekvenálás során nyert, majd különböző feltételek szerint szűrt rövid szekvencia olvasatok (short read szekvenciák) kocsányos tölgy genomra történt térképezése összesen 4521 polimorf lókuszt és 7385 SNP-t eredményezett. A szárazság szelekció alatt álló SNP-k meghatáro-

zása érdekében végzett EST térképezés a 198565 darab RAD lókuszt esetében 17,38%-os sikerességgel történt meg; az eredmények szűrését követően 180 lókuszhhoz tartozó 545 darab, igazoltan szárasságstresszel kapcsolatba hozható, magas polimorfizmust mutató SNP-t kaptunk az általunk vizsgált 18 populáció 179 egyedében (a BU2-es populációból egy egyed kizárásra került a vizsgálatokhoz szükséges minőségű szekvencia nem megfelelő száma miatt).

Mind a kocsányos tölgy genomra térképezett SNP-k, mind a szárasság szelekció alatt állók esetében végzett fastStructure elemzés során egyaránt 3 különálló csoport (klaszter) létét feltételeztük, megegyező összetétellel: az Erdélyben, Havasalföldön, Bulgáriában (1-3. számú populációk), Szerbiában, Albániában és Koszovóban mintázott populációk alkották az 1-es klasztert, a Magyarországon és Bosznia-Hercegovinában vizsgált populációk a 2-es számút, míg a 3. klaszterbe a legkeletibb elhelyezkedésű 4-es számú bulgáriai populáció került egyedülként (2. ábra). A klaszterelemzés eredményeivel jól társíthatók voltak az SNP adatsorokon végzett főkomponens elemzés eredményei: az első két főkomponens értékekkel ábrázolt populációk egymáshoz viszonyított távolsága, elhelyezkedése ugyancsak három jól elkülöníthető csoport létét igazolta (2. ábra).

A fastStructure programmal feltárt populációösszetétel az 1-es és 3-as klaszterek esetében egy észak-déli gradiens létét feltételezi, amelynek mentén északra haladva fokozatosan veszítenek dominanciájukból a déli jellegű genetikai mintázattal rendelkező egyedek. A klaszterek összetétele, genetikai távolsága ily módon megfeleltethető a tölgyfajok utolsó jégkorszakot követő feltételezett vándorlási mintázatával, mely szerint a Balkán-félszigeten kialakult elsődleges refúgiumokból nemcsak észak és kelet felé indult meg a populációk terjeszkedése, hanem ezzel párhuzamosan egy nyugati irányú elmozdulás, vándorlás is végbement (Zanetto & Kremer 1995, Petit et al. 2002, Bordács et al. 2002, Slade et al. 2008).



2. ábra: A populációk SNP alléllösszetétel alapú varianciaanalízisének, valamint fastStructure modellezésének eredménye (klaszterösszetétel és szerkezet)

Figure 2: Analysis of variance based on the allelic composition of sessile oak populations and fastStructure modelling results (cluster composition and structure)



Az egyes populációk, illetve klaszterek közötti genetikai differenciáltság csekély mértékű volt ( $F_{ST} = 0,001-0,110$ , illetve  $0,020-0,070$ ). A három klaszter közül a 3-as mutatott jelentősebb elkülönülést az  $F_{ST}$  értékek alapján, de a differenciáltsági értékek nem utalnak mérvadó izolációra e klaszter esetében sem ( $F_{ST(K1-K3)} = 0,070$ ,  $F_{ST(K1-K2)} = 0,060$ ). Az 1-es és 2-es klaszter közötti genetikai differenciáltság ténylegesen csekélynek tekinthető ( $F_{ST(K1-K2)} = 0,020$ ). A differenciáltsági értékekhez hasonlóan a Nei-féle genetikai távolság is kisebb genetikai elkülönülést mutatott az 1-es és 2-es klaszterek között, a 3-as klaszterhez viszonyítva. Összességében a vizsgált populációk között megfigyelt csekély mértékű genetikai differenciáltság összhangban van a nagy areával rendelkező fajok esetében tapasztalt értékekkel (Hamrick et al. 1992).

Az egyes populációk genetikai változatossága kiegyenlítettnek tekinthető, mind a várt ( $H_e = 0,188-0,288$ ) és a megfigyelt heterozigóciát ( $H_o = 0,189-0,229$ ), mind az átlagos allélszámot ( $A_{mean} = 1,667 - 1,850$ ) alapul véve. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a legalacsonyabb diverzitásértékek a BU4-es számú populációhoz tartoznak, egyben a legmagasabb populáción belüli differenciáltság érték is e populációt jellemezte ( $F_{IS} = 0,46$ ). Egyedi allélt kizárólag a magyarországi 3-as populáció esetében mutattunk ki.

Amint azt az Anyag és módszer fejezetben ismertettük, a kiugró (outlier)  $F_{ST}$  értékek kiválasztása során csak azokat vettük figyelembe, melyek mindhárom detektálási módszer esetében szignifikánsnak bizonyultak. Ezek alapján összesen négy lókuszt nyolc SNP-jét (markerjét) találtuk szelekció alatt állónak. A szelekció mind a négy esetben pozitívnak bizonyult, ami azt jelenti, hogy a szelekció az adott allél fennmaradását, így a genetikai differenciáltság növekedését segíti. Ezen allélek szerepe a környezeti alkalmazkodási folyamatokban tehát igazoltnak tekinthető.

A környezeti változók és az SNP mintázatok kovarianciájának értékelésére alkalmazott négy statisztikai módszer összesen 73 szignifikáns kapcsolatot tárt fel az egyes környezeti paraméterek, illetve a pozitív szelekció alatt álló SNP-k között. Tekintettel arra, hogy csak azokat a kapcsolatokat tekintettük ténylegesen elfogadhatónak, melyek szignifikanciáját legalább három statisztikai módszer alátámasztotta, az igazolt ökológiai jellemző-SNP kapcsolatok száma 16 lett (2. táblázat).

A 2. táblázatban szereplő adatok alapján megállapítható, hogy a regresszió vizsgálathoz felhasznált éghajlati adatok közül a legcsapadékosabb negyedév átlaghőmérséklete (bio8\_16) mutatta a legmarkánsabb kapcsolatot a szelekció alatt álló SNP lókuszzal (mind a négy lókuszzal szignifikáns volt a kapcsolata). Emellett a május hónap átlagos csapadékmennyisége (prec5\_16) tekinthető meghatározónak, ami három SNP lókuszzal mutatott szignifikáns kapcsolatot, de jelentősnek tekinthető még a legcsapadékosabb negyedév átlagos havi evapotranspirációja, a legszárazabb hónap átlagos csapadékösszege, valamint a legszárazabb negyedév átlagos csapadékösszege is, melyek egyaránt a 9. főkomponens meghatározó (5% feletti) változói voltak (a PC9 szintén három lókuszzal mutatott erős korrelációt). Kiemelendő, hogy valamennyi, szignifikáns kapcsolatot mutató környezeti faktor szélsőséges csapadéjárású időszakokhoz köthető, vagyis a legcsapadékosabb és csapadékban legszegényebb periódusok klimatikus viszonyai, valamint az azokban beálló változások bírnak magas szelekciós hatással.

2. táblázat: Az egyes szárazság szelekció alatt álló markerek és környezeti változók közötti kapcsolat négy statisztikai módszerrel végzett elemzés eredményei alapján (jelmagyarázat: **bio8\_16**: a legcsapadékosabb negyedév átlaghőmérséklete; **annPET**: éves potenciális evapotranspiráció; **PC3**: a legmelegebb negyedév csapadékmennyisége & június hónap átlagos csapadékmennyisége & július hónap átlagos csapadékmennyisége & augusztus hónap átlagos csapadékmennyisége; **PC9**: a legcsapadékosabb negyedév átlagos havi evapotranspirációja & május hónap átlagos csapadékmennyisége & a legnedvesebb negyedév átlaghőmérséklete & a legszárazabb hónap csapadékösszege & a legszárazabb negyedév csapadékösszege; **PETseas**: a potenciális evapotranspiráció havi változékonysága; **prec5\_16**: május hónap átlagos csapadékmennyisége; **tmin6\_16**: június hónap átlagos minimum hőmérséklete; **szignifikancia szintek**: ns: nincs szignifikáns különbség \*:  $p \leq 0.05$ , \*\*:  $p \leq 0.01$ , \*\*\*:  $p \leq 0.001$ )

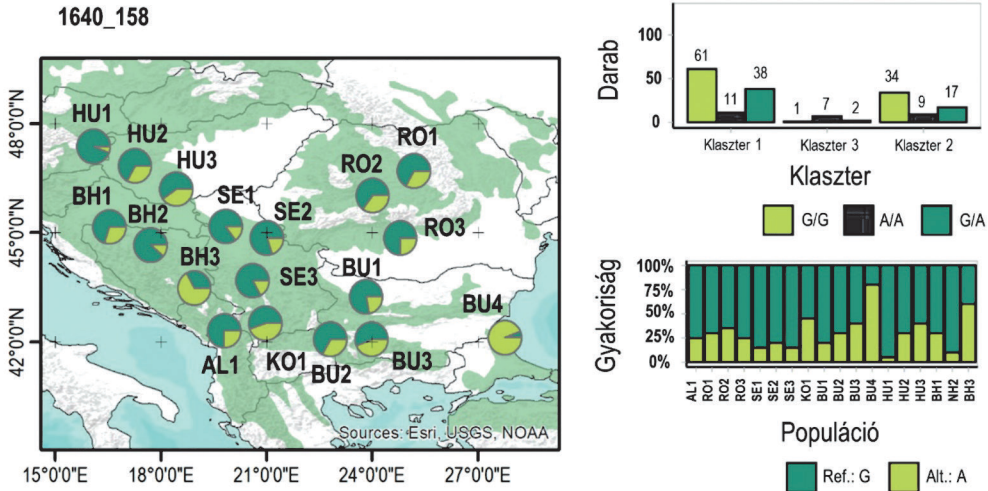
Table 2: Relationships between SNP markers standing under drought selection and environmental variables based on the four regression methods (abbreviations: **bio8\_16**: mean temperature of the wettest quarter; **annPET**: annual potential evapotranspiration; **PC3**: precipitation of warmest quarter & average monthly precipitation in August & average monthly precipitation in July & average monthly precipitation in June; **PC9**: mean monthly PET of wettest quarter & average monthly precipitation in May & mean temperature of the wettest quarter & precipitation of driest month & precipitation of driest quarter; **PETseas**: monthly variability in potential evapotranspiration; **prec5\_16**: average monthly precipitation in May; **tmin6\_16**: average monthly minimum temperature in June; **significance levels**: ns: no significance \*:  $p \leq 0.05$ , \*\*:  $p \leq 0.01$ , \*\*\*:  $p \leq 0.001$ )

SNP lókuszt	Környezeti változó	LFMM	SFA	GLM	MLM
		( z  érték)	(korrigált R <sup>2</sup> )	(korrigált R <sup>2</sup> )	(korrigált R <sup>2</sup> )
1640_158	bio8_16	ns	0,114***	0,065**	0,067**
	PC3	3,039***	0,100***	ns	ns
	PC9	ns	0,088**	0,058*	0,057**
1640_380	bio8_16	ns	0,112***	0,061*	0,061**
	PC3	3,198***	0,097***	ns	ns
2210_71	annPET	ns	0,050**	0,044*	0,061***
	bio8_16	ns	0,044*	0,058**	0,082***
	PC9	ns	0,117***	0,123***	0,121***
	PETseas	ns	0,053**	0,062**	0,055**
	prec5_16	ns	0,061**	0,037**	0,033**
	tmin6_16	ns	0,094***	0,080***	0,060***
457_85	bio8_16	ns	0,053**	0,062**	0,056***
	PC9	ns	0,067**	0,067**	0,067***
	PETseas	ns	0,070**	0,078**	0,118***
	prec5_16	ns	0,054**	0,044**	0,044***
	tmin6_16	2,417*	0,083**	0,077**	0,111***

Eredményeink igazolják tehát a szárazságtűréssel kapcsolatba hozható génszakaszok és egyes környezeti faktorok közötti kapcsolatot, vagyis az eltérő környezeti feltételekhez való alkalmazkodás hatására kialakuló genetikai differenciálódást. A folyamat eredményét jól szemlélteti az egyes szelekció alatt álló lókusztok alléljeinek vizsgált populációkban való eltérő előfordulási aránya: a 3. ábra a 1640\_158 számú lókuszt referencia (guanin) és alternatív (adenin) alléljeinek arányát mutatja be az egyes állományokban. Kisebb földrajzi léptékben és más markertípust alkalmazva (izoenzim), de Borovics & Mátyás (2013) hasonló eredményre jutott eltérő klimatikus adottságú területeken tenyé-



szó magyarországi kocsánytalan tölgy állományokat vizsgálva, kiemelve, hogy a szárazsági határ felé közeledve a növekvő környezeti stressz hatására az adaptációban szerepet játszó allélek frekvenciája növekszik, mellyel egyidőben az állományok (populációk) genetikai változatossága csökken, fixációs indexe emelkedik.



3. ábra: Az egyes populációk egyedei által hordozott referencia és alternatív allélek aránya a 1640\_158-as SNP lókuszt alapján. Az ábra jól szemlélteti az alternatív allél elterjedésének déli súlypontját

Figure 3: The rate of reference and alternative alleles in the different sessile oak populations at the SNP loci 1640\_158. The figure illustrates well that the alternative allele represents a south-centred distribution

## ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen kutatás során 18 közép- és délkelet-európai kocsánytalan tölgy populáció 179 egyede esetében ddRAD-seq módszerrel azonosított SNP markereket és záratermőkben meghatározott, szárazságstresszel összefüggésbe hozható EST szekvenciákat térképeztünk sikerrel kocsányos tölgy genomra. A térképezés eredményeként olyan SNP lókuszt azonosítottunk, amelyek megtalálhatóak mindkét tölgyfajban és kapcsolatot mutatnak szárazságstresszre adott adaptív válaszokkal. A kiugró értéket mutató SNP lókusztok környezeti paraméterekkel történt asszociációs vizsgálata során pedig egyértelmű kapcsolatot találtunk egyes környezeti faktorok és az SNP lókusztok között, ami szélsőséges csapadékjárású időszakok okozta szelektív nyomás hatására kialakult genetikai differenciálódást jelez.

A ddRAD-seq módszerrel végzett vizsgálataink során eltérő környezeti adottságokhoz történt adaptáció eredményeként eltérő genetikai mintázatokat fedtünk fel. Eredményeink kiindulási alapként szolgálhatnak olyan további kutatásokhoz, melyek hozzájárulhatnak a változó környezeti feltételek által érintett (veszélyeztetett) hazai kocsánytalan tölgy gazdálkodás fenntartható módon történő folytatásához. Eredményeink felhasználhatóak többek között:

- Egyes populációk változó környezeti feltételekhez való alkalmazkodóképességének értékelésében



- Az alkalmazkodási folyamatok molekuláris genetikai hátterének kutatásában
- Fő állományalkotó fafajaink szaporítóanyag-gazdálkodás fejlesztése szempontjából potenciális populációinak genetikai diverzitás felmérésében
- Származásazonosítás során (hatósági eredetvizsgálat)
- Magtermesztő ültetvények tervezésének tudományos megalapozásakor
- Nemesítési kutatások támogatásában (markerekre alapozott szelekció)

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás tárgyát képező kocsánytalan tölgy populációk kiválasztásához és mintagyűjtéséhez, valamint a kutatási eredmények értékelése során nyújtott segítségükért hálás köszönettel tartozunk a következő kollégáknak: Ivan Iliev (Erdészeti Egyetem, Bulgária), Ábrán Péter (Román Nemzeti Környezetvédelmi Intézet, Románia), Srdjan Stojnic, Sasa Orlovic, Vastag Erna (Újvidéki Egyetem, Szerbia), Milan Mataruga, Vanja Daničić (Banja Lukai Egyetem, Bosznia és Hercegovina), Egzon Tahirukaj (Connecting Natural Values and People alapítvány, Koszovó).

Kutatásunkat Magyarország Agrárminisztériuma (Kaán Károly projekt; projektazonosító: EVgF/549/2018, EGF/178/2019) és Bulgária Nemzeti Tudományos Alapja (támogatás azonosítója: KP-06-H26/4) támogatta.

A cikkben taglalt kutatási eredmények a 2022. február 10-én Sopronban megrendezett Erdészeti Tudományos Konferencia Erdőgazdálkodás szekciójában is bemutatásra kerültek, a következő címen: *Tóth Endre, Köbölkuti Zoltán, Cseke Klára, Benke Attila, Borovics Attila: Alapkutatási eredmények fenntartható tölgygazdálkodásunk támogatása érdekében.*

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Baird N.A., Etter P.D., Atwood T.S., Currey M.C., Shiver A.L., Lewis Z.A., Selker E.U., Cresko W.A. & Johnson E.A. 2008: Rapid SNP Discovery and Genetic Mapping Using Sequenced RAD Markers. *PLoS ONE* 3(10): e3376. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003376>
- Batley J. & Edwards D. 2007: SNP Applications in Plants. In: Oraguzie N.C., Rikkerink E.H.A., Gardiner S.E. & De Silva H.N. (eds.): *Association Mapping in Plants*. Springer, New York, NY, USA. 95–102., [https://doi.org/10.1007/978-0-387-36011-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-0-387-36011-9_6)
- Beckage B., Osborne B., Gavin D.G., Pucko C., Siccama T. & Perkins T. 2008: A rapid upward shift of a forest ecotone during 40 years of warming in the Green Mountains of Vermont. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 4197. <https://doi.org/10.1073/pnas.0708921105>
- Blanc-Jolivet C., Bakhtina S., Yanbaev R., Yanbaev Y., Mader M., Guichoux E. & Degen B. 2020: Development of new SNPs loci on *Quercus robur* and *Quercus petraea* for genetic studies covering the whole species' distribution range. *Conservation Genetics Resources* 12: 597–600. <https://doi.org/10.1007/s12686-020-01141-z>
- Bordács S., Popescu F., Slade D., Csaikl U.M., Lesur I., Borovics A., Kézdy P., König A.O., Gömörly D., Brewer S., Burg K. & Petit R.J. 2002: Chloroplast DNA variation of white oaks in northern Balkans and in the Carpathian Basin. *Forest Ecology and Management* 156(1-3): 197–209. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00643-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00643-0)
- Borovics A. & Mátyás Cs. 2013: Decline of genetic diversity of sessile oak at the retracting (xeric) limits. *Annals of Forest Science* 70: 835–844. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0324-6>



- Bradbury P.J., Zhang Z., Kroon D.E., Casstevens T.M., Ramdoss Y. & Buckler E.S. 2007: TASSEL: software for association mapping of complex traits in diverse samples. *Bioinformatics* 23: 2633–2635. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btm308>
- Catchen J., Hohenlohe P.A., Bassham S., Amores A. & Cresko W.A. 2013: Stacks: an analysis tool set for population genomics. *Molecular Ecology* 22: 3124–3140.
- Chakraborty D., Móricz N., Rasztovis E., Dobor L. & Schueler S. 2021: Provisioning forest and conservation science with high-resolution maps of potential distribution of major European tree species under climate change. *Annals of Forest Science* 78: 26. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01029-4>
- Czúcz B., Gálhidy L. & Mátyás Cs. 2013: A bükk és a kocsánytalan tölgy elterjedésének szárazsági határa. *Erdészeti tudományi Közlemények*, 3(1): 39-53.
- Excoffier L., Hofer T. & Foll M. 2009: Detecting loci under selection in a hierarchically structured population. *Heredity* 103: 285–298. <https://doi.org/10.1038/hdy.2009.74>
- Foll M. & Gaggiotti O. 2008: A genome-scan method to identify selected loci appropriate for both dominant and codominant markers: a Bayesian perspective. *Genetics* 180: 977–993. <https://doi.org/10.1534/genetics.108.092221>
- Frichot E., Schouille S.D., Bouchard G. & François O. 2013: Testing for associations between loci and environmental gradients using latent factor mixed models. *Molecular Biology and Evolution* 30: 1687–1699. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst063>
- García C., Guichoux E. & Hampe A. 2018: A comparative analysis between SNPs and SSRs to investigate genetic variation in a juniper species (*Juniperus phoenicea* ssp. *turbinata*). *Tree Genetics & Genomes* 14: 87. <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1301-x>
- Gencsi L. & Vancsura R. 1997: *Dendrológia*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 240–246.
- Goudet J. 2005: Hierfstat, a package for R to compute and test hierarchical F-statistics. *Molecular Ecology Notes* 5: 184–186. <https://doi:10.1111/j.1471-8286.2004.00828.x>.
- Hamrick J.L., Godt M.J.W. & Sherman-Broyles, S.L. 1992: Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests* 6: 95–124.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G. & Jarvis A. 2005: Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Járó Z. 1966: A fajok hazai elterjedése. In: Babos I., Horváthné Proszk S., Járó Z., Király L., Szodfridt I. & Tóth B. 1966: *Erdészeti termőhelyfeltárás és térképezés*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 136 p.
- Járó Z. 1972: Az erdészeti termőhelyértékelés rendszere. In: Danszky I. (ed.) 1972: *Erdőművelés - Irányelvek, eljárások, technológiák I. – Erdőfelújítás, erdőtelepítés, fásítás*. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest, 53–71.
- Jombart T. & Ahmed I. 2011: adegenet 1.3-1: new tools for the analysis of genome-wide SNP data. *Bioinformatics* 27: 3070–3071. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btr521>
- Kamvar Z.N., Tabima J.F. & Grünwald N.J. 2014: Popp: 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>
- Keresztesi B. 1971: *Magyar erdők*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 79 p.
- Konar A., Choudhury O., Bullis R., Fiedler L., Kruser J.M., Stephens M.T., Gailing O., Schlarbaum S., Coggeshall M.V., Staton M.E., Carlson J.E., Emrich S. & Romero-Severson J. 2017: High-quality genetic mapping with ddRADseq in the non-model tree *Quercus rubra*. *BMC Genomics* (2017) 18: 417. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-3765-8>
- Lê S., Josse J. & Husson F. 2008: FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software* 25(1): 1–18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Li H. 2013: Aligning sequence reads, clone sequences and assembly contigs with BWA-MEM. *arXiv preprint arXiv:1303.3997*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1303.3997>
- Luu K., Bazin E. & Blum M.G. 2017: pcadapt: an R package to perform genome scans for selection based on principal component analysis. *Molecular Ecology Resources* 17: 67–77. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12592>
- Machar I., Vlckova V., Bucek A., Vozenilek V., Salek L. & Jerabkova L. 2017: Modelling of Climate Conditions in Forest Vegetation Zones as a Support Tool for Forest Management Strategy in European Beech Dominated Forests. *Forests* 8(3): 82. <https://doi.org/10.3390/f8030082>

- Majer A. 1972: Célállományok jellemzése. In: Danszky I. (ed.) 1972: Erdőművelés - Irányelvek, eljárások, technológiák I. – Erdőfelújítás, erdőtelepítés, fásítás. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest, 102–103.
- Marees A.T., de Kluiver H., Stringer S., Vorspan F., Curis E., Marie-Claire C. & Derks E.M. 2018: A tutorial on conducting genome-wide association studies: Quality control and statistical analysis. *International Journal of Methods in Psychiatric Research* 27: e1608. <https://doi.org/10.1002/mpr.1608>
- Masoudi-Nejad A., Tomomura K., Kawashima S., Moriya Y., Suzuki M., Itoh M. & Goto S. 2006: EGAssembler: online bioinformatics service for large-scale processing, clustering and assembling ESTs and genomic DNA fragments. *Nucleic Acids Research* 34: W459-W462. <https://doi.org/10.1093/nar/gkl066>
- Mátyás Cs. 1999: Molekuláris markerek alkalmazása az erdészeti növények nemesítésében. In: Hajósné Novák M. (ed.): Genetikai variabilitás a növény nemesítésben. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 65–78.
- Móricz N., Rasztovis E., Gálos B., Berki I., Eredics A. & Loibl W. 2013: Modelling the Potential Distribution of Three Climate Zonal Tree Species for Present and Future Climate in Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 9: 85–96.
- Nagy K. (ed.) 2021: Nemzeti szisztematikus erdőleltár. Nemzeti Földügyi Központ, Erdészeti Főosztály, Budapest ISBN 978-615-6287-00-7
- Nazareno A.G., Bemmels J.B., Dick C.W. & Lohmann L.G. 2017: Minimum sample sizes for population genetics: an empirical study from an Amazonian plant species. *Molecular Ecology Resources* 17(6): 1136–1147. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12654>
- Nei M. 1973: Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 70:3321-3. <https://doi.org/10.1073/pnas.70.12.3321>
- Petit R.J., Brewer S., Bordács S., Burg K., Cheddadi R., Coart E., Cottrell J., Csaikl U.M., Deans J.D., Fineschi S., Finkeldey R., Glaz I., Goicoechea P.G., Jensen J.S., König A.O., Lowe A.J., Madsen S.F., Mátyás G., Munro R.C., Popescu F., Slade D., Tabbener H., van Dam B., Ziegenhagen B., de Beaulieu J.L. & Kremer A. 2002: Identification of refugia and postglacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence. *Forest Ecology and Management* 156(1-3): 49-74. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00634-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00634-X)
- Plomion C., Aury J.M., Amselem J., Leroy T., Murat F., Duplessis S. & Lesur I. 2018: Oak genome reveals facets of long lifespan. *Nature Plants* 4: 440–452. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12425>
- R Core Team 2021: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rafalski J. A. 2002: Novel genetic mapping tools in plants: SNPs and LD-based approaches. *Plant Science* 162: 329–333. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00587-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00587-8)
- Raj A., Stephens M. & Pritchard J.K. 2014: fastSTRUCTURE: variational inference of population structure in large SNP data sets. *Genetics* 197: 573–589. <https://doi.org/10.1093/genetics/197.2.NP>
- Rasztovis E., Móricz N., Berki I., Pötzelsberger E. & Mátyás Cs. 2012: Evaluating the performance of stochastic distribution models for European beech at low-elevation xeric limits. *Időjárás* 116(3): 173–194.
- Robinson J.T., Thorvaldsdóttir H., Winckler W., Guttman M., Lander E.S., Getz G. & Mesirov J.P. 2011: Integrative genomics viewer. *Nature Biotechnology* 29: 24–26. <https://doi.org/10.1038/nbt.1754>
- Rochette N.C., Rivera-Colón A.G. & Catchen J.M. 2019: Stacks 2: Analytical methods for paired-end sequencing improve RADseq-based population genomics. *Molecular Ecology* 28: 4737–4754. <https://doi.org/10.1111/mec.15253>
- Rubel F., Brugger K., Haslinger K. & Auer I. 2017: The climate of the European Alps: Shift of very high resolution Köppen-Geiger climate zones 1800–2100. *Meteorologische Zeitschrift* 26(2): 115–125.
- Shastri B.S. 2009: SNPs: Impact on Gene Function and Phenotype. In: Komar A.A. (ed.): *Single Nucleotide Polymorphisms. Methods in Molecular Biology*. Humana Totowa, NJ, 3–4. eBook ISBN: 978-1-60327-411-1
- Slade D., Kvorc Z.S., Ballian D., Gracan J. & Papes D. 2008: The Chloroplast DNA Polymorphisms of White Oaks of Section *Quercus* in The Central Balkans. *Silvae Genetica* 57(1-6): 227-234. <https://doi.org/10.1515/sg-2008-0035>
- Stojanović D.B., Matović B., Orlović S., Kržič A., Trudić B., Galić Z., Stojnić S. & Pekeč S. 2014: Future of the Main Important Forest Tree Species in Serbia from the Climate Change Perspective. *South-east European Forestry* 5(2): 117–124. <http://dx.doi.org/10.15177/see-for.14-16>



- Title P.O. & Bemmels J.B. 2018: ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling. *Ecography* 41: 291–307. <https://doi.org/10.1111/ecog.02880>
- Tóth E.G., Köbölkuti Z.A., Cseke K., Kámpel J.D., Takács R., Tomov V.T., Ábrán P., Stojnic S., Vastag E., Mataruga M., Daničić V., Tahirukaj E., Zhelev P., Orlovic S., Benke A. & Borovics A. 2021: A genomic dataset of single nucleotide polymorphisms generated by ddRAD tag sequencing in *Q. petraea* (Matt.) Liebl. populations from Central-Eastern Europe and Balkan Peninsula. *Annals of Forest Science* 78: 43. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01051-6>
- Ujváriné Jármay É. 1988: A nemesítési kutatásokról. *Az Erdő* 37(10): 436–440.
- Winter D.J. 2017: rentrez: An R package for the NCBI eUtils API. *The R Journal* 9(2): 520–526. ISSN 2073-4859
- Wu T.D. & Watanabe C.K. 2005: GMAP: a genomic mapping and alignment program for mRNA and EST sequences. *Bioinformatics* 21: 1859–1875. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bti310>
- Xiong S., Hao Y., Rao S., Huang W., Hu B. & Wang Y. 2009: Effects of cutoff thresholds for minor allele frequencies on HapMap resolution: A real dataset-based evaluation of the Chinese Han and Tibetan populations. *Chinese Science Bulletin* 54: 2069–2075. <https://doi.org/10.1007/s11434-009-0302-4>
- Zanetto A. & Kremer A. 1995: Geographical structure of gene diversity in *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. I. Monolocus patterns of variation. *Heredity* 75(5): 506–517. <https://doi.org/10.1038/hdy.1995.167>

Érkezett: 2022. augusztus 24.

Közlésre elfogadva: 2023. január 26.

# HAZAI FAFAJOK KLÍMAANALÓG TERÜLETEINEK VIZSGÁLATA A KLÍMAVÁLTOZÁS TÜKRÉBEN

Illés Gábor és Móricz Norbert

SOE – Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológiai és Erdőművelési Osztály

## Kivonat

Kilenc európai és hazai állományalkotó faj esetében végeztünk klímaburok vizsgálatokat és azonosítottunk klíma analóg területeket abból a célból, hogy a klímaváltozás erdőkre gyakorolt hatását vizsgáljuk. A vizsgálatokhoz az európai fajak elterjedési adatbázist, valamint – a múltra vonatkozó klimatikus adatokon kívül – az RCP 4.5, ill. RCP 8.5 forgatókönyvekre épülő klímamodell ensemble-ből levezetett bioklimatikus adatokat használtuk. Négy időszakot vizsgáltunk: az 1961–1990 közti elmúlt időszakot, a 2011–2040 közötti jelen időszakot, illetve a 2041–2070 közötti közeljövőt, és a 2071–2100 közötti távolabbi jövőt. A fajok klímaburkainak térbeli átrendeződését random forest becslő eljárással modelleztük az extrapoláció kizárásával. Az eredmények szerint a modellek megbízhatóan becsülték a fajok történeti elterjedését. Jelenleg és a jövőben is jelentős átrendeződés tapasztalható a fajak specifikus klímaburok földrajzi vetületében. A hazai vonatkozásokat nézve az optimistább forgatókönyv szerint a hazai tölgyfajok klimatikus igényeinek megfelelő területek nagysága az ezredfordulós értékekhez képest az 1/5-ére eshet vissza a század végére. Kivételt jelent a molyhos tölgy, mely sokszoros területnyereséget érhet el a többi faj rovására. Ugyancsak a változások vesztese a bükk, mely klimatikusan alkalmas területeinek nagysága a tizedére eshet vissza. E mellett sokszorosára nőhet a feketefenyő számára alkalmas területek nagysága. A modellek szerint két-háromszorosára nő azon területek kiterjedése, melyekhez valószínűleg nem lehet majd klíma analóg származási helyeket találni Európában. A fajok klímaburkainak modellezési eredményei iránymutatást adhatnak az éghajlati alkalmazkodáshoz, azaz a veszélyeztetett területek azonosításához és a szaporítóanyag forrás- és célterületeinek kiválasztásához.

*Kulcsszavak:* klíma analóg területek, döntéstámogatás, fajak klíma sérülékenység, szaporítóanyag források

## INVESTIGATING THE CLIMATE ANALOGUE AREA OF DOMESTIC TREE SPECIES IN THE LIGHT OF CLIMATE CHANGE

### Abstract

We performed the climate envelope analysis of nine stand forming tree species, which are native not only in wider Europe but in Hungary as well. We identified climate analogue areas in order to evaluate the impact of climate change on forests. Beside the European tree species distribution database we used the bioclimatic variables of – not only the historical climate records but – an ensemble of climate models, which are based on the RCP 4.5 and RCP



8.5 scenarios. The investigated four periods were: the past period of 1961–1990, the present period of 2011–2040, the near future period of 2041–2070, and the far future period of 2071–2100. The spatial rearrangements of species' climate envelopes were modelled by the method of random forests with the exclusion of extrapolated areas. The results showed that the models predicted reliably the historical distribution areas of species. The models predicted significant rearrangements in the spatial extents of the species' climate envelopes for the future-, and even for the present period. Considering the Hungarian aspects we concluded that, according to the optimistic scenario, by the end of this century, the spatial extent of suitable areas for oak species may drop to one fifth of the value measured at the turn of the 2000s. The only exception is downy oak, whose suitable area can multiply at the expense of other oak species. Another species on the losing side is beech whose climatically suitable area can reduce to one tenth of its former value. Beside the above, black pine can gain more and more areas. According to the models, the extent of the areas for which it will probably not be possible to find climate analogue provenances in Europe increases by two to three times. The modeling results of the climate envelopes of tree species can provide guidelines for climate adaptation, i.e. the identification of threatened areas and the selection of source and destination areas for reproductive material.

*Keywords:* climate analogue areas, decision support, climatic vulnerability of trees, sources of propagation material

## BEVEZETÉS

A klímaváltozás világszerte okozza az erdők elterjedésének és fajaj összetételének változását. Az Európában egyre gyakoribbá váló aszályok (Spinoni et al. 2015) nem csak a növekedésre hatnak negatívan (Mátyás et al. 2018; Brodribb et al. 2020; Schuldt et al. 2020), de a mortalitási ráta növekedését is magukkal hozzák (Allen et al. 2015; Cailleret et al. 2017; Zscheischler & Seneviratne 2017; Buras et al. 2018; Choat et al. 2018; Zscheischler et al. 2018). Zárterdei fajokunk képesek alkalmazkodni és megtartani élőhelyeiket, amíg az éghajlat stabil, és nincsenek olyan gyors trendváltások vagy szélsőséges ingadozások az időjárási mintákban, amelyek nagyságrendileg eltérnek a generációváltás, és/vagy a vándorlási képességek sebességétől. Az éghajlati viszonyok mellett a fajok az évszázadok során más környezeti tényezőkhez is alkalmazkodni tudtak, mint például az élőhelyükön uralkodó edafikus körülmények. Az azonos területeken jelenlévő kompetitor, ragadozó, parazita vagy kórokozó fajokkal szembeni megfelelő ellenállás és versenyelőny megléte számos faj tartós élőhelyi jelenlétét biztosította. Az éghajlatváltozás azonban veszélyezteti ezt a status quo-t, és szelektív nyomást gyakorol a populációkra mind abiotikus, mind biotikus tényezőkön keresztül. Ebből következően a fajok térbeli eloszlása és az erdeink összetétele várhatóan – magától is – megváltozik (Fekete et al. 2017; Scherrer et al. 2017). A gazdaságilag fontos és őshonos európai fajok elterjedése a klímaváltozás miatt jelentősen csökkenhet vagy átrendeződhet (Hanewinkel et al. 2013). A faanyagellátás szempontjából fontos európai fajok felújulási ciklusa és vágásfordulója általában hosszú és lassú, gyakran több mint 100 év. (Az ellenálló- és alkalmazkodóképesség növelését segítő, folyamatos erdőborításra való átálláshoz ennél is több időre van szükség.) Ehhez képest a fajoknak (és a velük való gazdálkodásnak is) egy sokkal gyorsabb klímaváltozásra kellene most reagálniuk (Corlett & Westcott 2013). A legtöbb faj várhatóan nem lesz képes kezelni ezt a viszonylag rövid és gyors átmenetet helyi alkalmazkodás vagy



természetes vándorlás révén. Következésképpen az erdőket hozzá kell segíteni a megváltozott körülményekhez való alkalmazkodáshoz az erdőkezelési stratégiák megváltoztatásával, vagy alkalmazkodóképesebb fajok, jobban előalkalmazkodott és ezáltal ellenállóbb származások telepítésével (Chakraborty et al. 2015; Halofsky et al. 2018; Sousa-Silva et al. 2018).

A meghatározó európai fajok jövőbeni sérülékenységének felmérése kulcsfontosságú azok kiemelkedő gazdasági- és ökoszisztéma-szolgáltatási értéke miatt. Sajnos sok faj vitalitása valószínűleg csökkenni fog a jövőben (Walentowski et al. 2017), ami arra készteti a tudományos közösséget, hogy aktívan vizsgálják, milyen mértékben válhatnak megfelelő alternatívává más, vagy nagyobb éghajlati toleranciájú fajok. Számos tanulmány értékes betekintést nyújtott egyes fajok klímaváltozásra adott lehetséges reakcióinak lehetőségeibe. A tanulmányok némelyike az évgűrű-elemzésekre összpontosít (Rehshuh et al. 2017; Buras et al. 2018), míg mások tenyészkeri kísérleteket (Mátyás et al. 2021), vagy fajfelterjedési modelleket (Thurm et al. 2018; Buras & Menzel 2019) használtak.

A legtöbb elterjedés modell az előfordulási hely adatokat használja bemeneti paraméterként, és csak nagyon kevés hivatkozik megerősített előfordulás mentes hely adatokra. Ennek az az oka, hogy ez utóbbiakat nagyon nehéz igazolni, validálni. Ennek ellenére a modellek többsége (általános lineáris modellek, osztályozó eszközök, entrópia modellek) igényel kvázi előfordulás mentes hely adatokat is, amelyeket a fajok előfordulási helyére vonatkozó információkból különböző módszerekkel vezetnek le (Barbet-Massin et al. 2012; Higgins et al. 2020). Buras & Menzel (2019) a közelmúltban modellezték az európai erdők fajösszetételének változásait klíma analóg területek módszerével, kombinálva a leskálázott, ensemble éghajlati előrejelzések adatait európai erdőleltár adatokkal (Mauri et al. 2016; Mauri et al. 2017). Az elemzéseket ugyanakkor alacsony térbeli felbontású éghajlati adatok felhasználásával végezték.

Az elmúlt és a jövő időszakok éghajlati adatainak elemzésével elvileg meg lehet határozni azokat a régiókat, amelyek között az egyes fajok szaporítóanyaga várhatóan sikerrel hasznosítható. Különböző nemzetközi projektek fokozták erőfeszítéseiket ezen a területen, példaként említhetjük a SUSTREE (<https://www.interreg-central.eu/Content.Node/SUSTREE.html>), vagy a REFOCUS (Sallmannshofer et al. 2021) programokat.

Kutatásunkban a klímaburok elemzés módszerével vizsgáltuk kilenc, Európában elterjedt és gazdaságilag is fontos faj esetében, hogy a számukra alkalmas klimatikus adottságokkal bíró területek kiterjedése hogyan változik meg a klímaváltozás hatására. Jelen tanulmány célja továbbá, hogy azonosítsa azokat a területeket, ahol a jövőben várható éghajlati viszonyokhoz nem található klíma analóg származási terület Európában. A kutatás során három kérdésre kerestünk választ:

- Hogyan változik meg a jövőben a főfafajok klímaburkának földrajzi vetülete?
- Vannak-e olyan erdőterületek, ahol a jövőben egyik jelenleg vizsgált főfafaj sem lesz várhatóan állományalkotó faj?
- Mennyire valószínű, hogy a klímaburok eltolódások lehetővé teszik a fajok komplementer szerepének erősödését? Vagyis, hogy az egyik faj számára kedvezőtlen eltolódásból egy másik faj profitálhat.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### A választott fajok és elterjedési adataik

A vizsgálathoz kilenc fajt választottunk (1. táblázat), köztük hat késői szukcessziós szakaszra jellemző lombos fát, amelyek domináns vagy kodomináns szerepet játszanak az európai mérsékelt égövi erdők nagy erdőciklusának zárt társulásaiban (Kuuluvainen 2016). Ezek a fák megfelelő jellemző tulajdonságokkal (hosszú élettartam, lassú növekedés, nagy magméret, hosszabb regenerációs ciklus) rendelkeznek. A modellezett fajok közé bekerült olyan ritkábban modellezett faj is, mint például a magyar tölgy (*Quercus frainetto* Ten.), amely korábban nem szerepelt az európai elterjedési modellvizsgálatokban. A lombos fák mellett három olyan fenyőfajt is választottunk, amelyek erdészeti szempontból meghatározó szereppel és nagy gazdasági jelentőséggel bírnak. A választott tűlevelűek ökológiai és gazdasági tulajdonságaiknak köszönhetően széles körben elterjedtek Európában. Az összes választott faj fontos az európai erdészeti ágazat számára, és jelentősen kitétt az éghajlatváltozás hatásainak (Czúcz et al. 2011).

1. táblázat: A választott fajok listája és az európai erdőkben lévő részarányuk  
Table 1.: List of selected species and their volume share in European forests

Faj tudományos neve	Név rövidítés	Magyar név	Térfogat arány Európa erdeiben*
<i>Fagus sylvatica</i> L.	B	bükk	11,9%
<i>Picea abies</i> H. Karst	LF	lucfenyő	23,0%
<i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold	FF	feketefenyő	29,6%
<i>Pinus sylvestris</i> L.	EF	erdeifenyő	
<i>Quercus cerris</i> L.	CS	csertölgy	10,0%
<i>Quercus frainetto</i> Ten.	MAT	magyar tölgy	
<i>Quercus petraea</i> Liebl.	KTT	kocsánytalan tölgy	
<i>Quercus pubescens</i> Willd	MOT	molyhos tölgy	
<i>Quercus robur</i> L.	KST	kocsányos tölgy	

\*Az európai erdők állapotáról szóló 2020-as jelentés szerint. Az ebben az oszlopban szereplő adatok csak a nemzeti ségére vonatkoznak. Fajsziintű adatok európai léptékben nem álltak rendelkezésre.

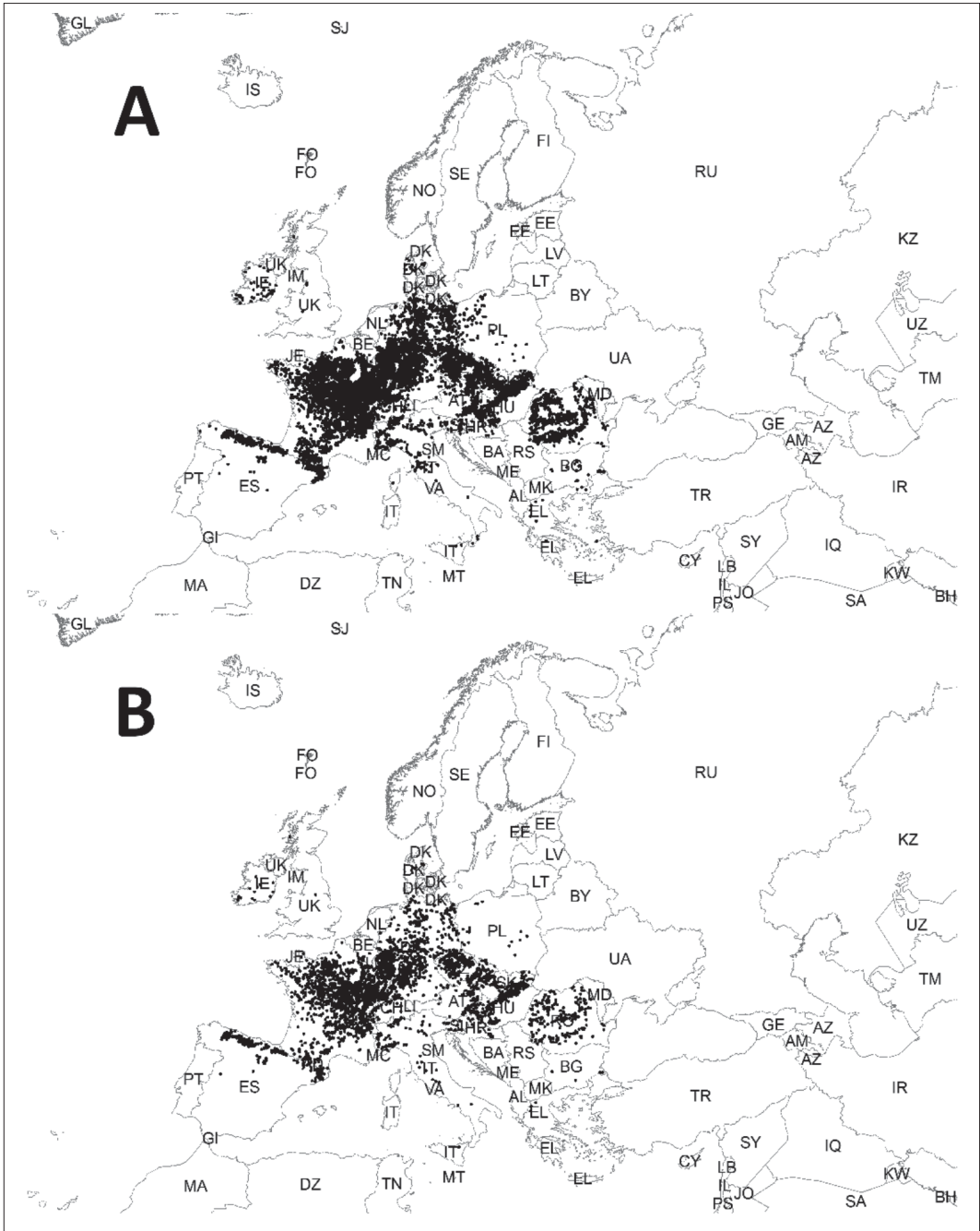
A fajok aktuális elterjedési térképeinek elkészítéséhez az európai faj-előfordulási adatbázist (Mauri et al. 2016) használtuk.

## A faj elterjedési adatok feldolgozása

Az egy fajra fókuszáló, hiány-előfordulás alapú elterjedési modellek helyett egyszerre több faj potenciális elterjedését becsültük oly módon, hogy a bizonytalansági tényezőt jelentő hiányadatokat helyettesítettük a fajok közötti átmenetek hatásával.

Az európai faj elterjedési adatbázisból az egyes fajok elterjedésének jellemzésére tanuló- és teszt területeket választottunk ki (1. A, B. ábrák). A kiválasztás úgy történt, hogy minden előfordulási ponthoz egy 1 és 100 közötti véletlen számot rendeltünk. Minden olyan előfordulási pont, amelyhez 75-nél nagyobb véletlen szám tartozott, bekerült a tesztadatbázisba, míg a többi a tanuló területek közé sorolódott. Az egyes fajok tanulóterületi pontjaiból rasztereket készítettünk, a – fejezet későbbi részében ismertetett – bioklimatikus változókkal megegyező rácsosztással. Erre azért volt szükség, mert az európai faj elterjedési adatbázis rácspontra kiosztása az INSPIRE 1 km × 1 km-es rácsponthoz illeszkedik, amely nem fed át az általunk használt 1 km × 1 km-es bioklimatikus változó rácskiosztásával. A raszterek egyedi értékkel bírtak az adott faj előfordulási pontjait tartalmazó cellák tekintetében, míg az előfordulás nélküli cellák nulla értéket kaptak. Mind a kilenc faj raszterét összevontuk egy egyesített raszterre, amely az egyes fajok, vagy azok kombinációinak – átfedő előfordulások esetén – összesített előfordulását tartalmazta cellaértékeiben. Az 1. ábra szemlélteti, hogy a véletlenszerű kiválasztás megtartotta az előfordulási pontok térbeli jellemzőit, beleértve a sűrűséget vagy akár a térbeli kiterjedést.

A tanuló adatsor kialakítása során úgy akartunk eljárni, hogy a fajkombinációkat a lehető legjobban elkülönítsük, miközben megtartjuk jellemzőiket a megkülönböztethetőség és az előrejelzési pontosság javítása érdekében. Arra is törekedtünk, hogy elkerüljük az átfedéseket a faj kombinációk tanuló területei között. A kombinációk számának csökkentése érdekében elemzésünkben csak az olyan fajkombinációkat vettük figyelembe, amelyek teljes kiterjedése elérte vagy meghaladta a 100 km<sup>2</sup>-t Európában. (Ez alól kivételt csak a magyar tölgy – *Quercus frainetto* Ten. – jelentett a fragmentált előfordulása miatt). Ez a megszorítás a teljes vizsgálati terület 0,45%-át zárta ki és 63%-kal csökkentette a kombinációk számát. A különböző faj kombinációk tanuló területei közötti átfedések elkerülése érdekében az egyetlen faj előfordulását tartalmazó raszter cellákat külön kombinációnak tekintettük a vegyes celláktól, amelyekben a fajok vegyesen fordultak elő. Például a csak kocsánytalan tölgyet, vagy csak csertölgyet tartalmazó cellákat megkülönböztettük e két faj együttesen tartalmazó celláktól. Az egyes fajok klímaburkának földrajzi meghatározásánál a fajkombinációk területét minden érintett faj területébe beszámítottuk.



1. ábra: Véletlenszerűen választott tanuló- (A) és teszterületek (B) elhelyezkedése az európai fajterjedési adatbázis alapján a kocsánytalan tölgy esetében

Figure 1: Randomly selected training (A) and test (B) samples of e.g. *Quercus petraea*, Liebl. based on occurrences found in the European species distribution database

## Bioklimatikus változók

A klimatikus változókhoz a Climate EU adatbázist (Marchi et al. 2020a; Marchi et al. 2020b) használtuk, melynek  $1 \times 1$  km-es a felbontása és 36 bioklimatikus változót tartalmaz. Az adatbázis térbeli kiterjedése lefedi Európát a  $34,26^\circ$  és  $71,24^\circ$  közötti földrajzi szélességi, valamint a  $-10,74^\circ$  és  $44,24^\circ$  közötti földrajzi hosszúsági körök között. Az 1961–1990 időszak átlagos bioklimatikus változó értékeit tartalmazó rasztereket használtuk a fajaj specifikus klímaburok modellek kalibrálására.

A felhasznált változók az alábbiak voltak:

- Az éves középhőmérséklet és évi csapadékösszeg;
- átlagos évszaki csapadékösszegek;
- a hóként lehulló csapadék mennyisége;
- évszaki maximum-, minimum- és átlaghőmérsékletek;
- az extrém minimum hőmérséklet;
- a legmelegebb hónap átlaghőmérséklete;
- a leghidegebb hónap átlaghőmérséklete;
- az átlagos éves hőmérsékleti ingás;
- a tenyészidőszakban (május–szeptember) lehullott átlagos csapadékmennyiség;
- az éves termikus-nedvesség index ( $AHM = (\text{évi átlag hőmérséklet} + 10) / (\text{évi csapadékösszeg} / 1000)$ );
- a nyári termikus-nedvesség index ( $SHM = \text{legmelegebb hónap átlaghőmérséklete} / (\text{tenyészidőszaki csapadék} / 1000)$ ).
- A foknap értékek közül figyelembe vettük a  $0^\circ\text{C}$  alatti, az  $5^\circ\text{C}$  feletti, a  $18^\circ\text{C}$  alatti, a  $18^\circ\text{C}$  feletti foknapok számát.
- Figyelembe vettük továbbá a fagymentes napok számát, a fagymentes időszak kezdetét és végét.
- Végül az adatok tartalmazták a Hargreave-féle referencia párolgás és klimatikus nedvesség deficit értékét is (Hargreaves & Allen, 2003).

A jövőbeli – 2011–2040, 2041–2070 és 2071–2100 közötti 30 éves időszakokra nézve – az előrejelzésekhez 15 globális cirkulációs modell (AOGCM) együttes becsléseit használtuk a legjobb validációs statisztikákkal, amelyek az RCP 4.5 és RCP 8.5 forgatókönyveken alapulnak és szerepelnek a Climate EU adatkészletben (Marchi et al. 2020b).

## Adatfeldolgozás és statisztikai értékelés

### Raszteres adatok szegmentálása

Megközelítésünk során térben és időben olyan régiókat azonosítottunk, amelyek többé-kevésbé hasonló klimatológiai jellemzőkkel rendelkeznek, ezáltal valószínűleg megfelelő növekedési feltételeket biztosítanak az adott területen található fajoknak (Járó 1972). A klíma analóg területek meghatározására változó felbontású szegmentálást alkalmaztunk, összesen 36 nagy térbeli felbontású bioklimatikus változó figyelembevételével.



Ahelyett, hogy a bioklimatikus raszterek értékeit közvetlenül a faj előfordulási raszterek rácspontjaihoz rendeltük volna, a bioklimatikus raszterekből egy koherens poligonhálózatot hoztunk létre változó felbontású szegmentálással (Darwish et al. 2003) Trimble eCognition 8 szoftverkörnyezetben. Ebben a poligonhálózatban minden szegmens egy homogénebb, de a környezetétől eltérő pixelcsoportot ölel fel, miközben a poligonok összessége a különböző felbontású, egymásra épülő topológiáikban egységes rendszert alkot. Az Európát legrészletesebb felbontásban lefedő szegmensek száma 405 301 db volt. Az ezekből tanuló területnek kijelölt szegmensek szolgálták alapul a fafajok klímaburkainak meghatározásához. Egy szegmens annak a fafajnak, vagy fafaj-kombinációnak a tanulóterületévé vált, amelynek a tanulóterületek közé sorolt raszterpontja a szegmensben helyezkedett el. A szegmentálás előnye, hogy a raszteres információkat nagyobb térbeli objektumokba rendezi, amelyek méretaránytól függően használhatók lokális, regionális vagy „globális” szintre összevont jellemzésre. Jelen esetben a klímaburkok építőkövei voltak a tanulóterületi szegmensek. További előny, hogy a képpontok szegmensekbe csoportosításával a számítási kapacitásigény csökken.

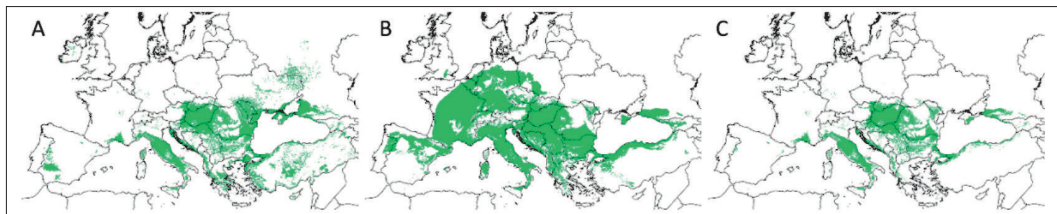
### *Fafaj specifikus klímaburkok becslés*

A fafaj specifikus klímaburkok kiterjedését szimultán módon, random forest becslési módszerrel végeztük, klasszifikációs feladatra visszavezetve a modellezési problémát (Breiman 2001). A tanulóterületek kijelölése után kalibrálni kellett a modellt az 1961–1990 közötti referencia időszak bioklimatikus adataival. A modellben 301 döntési fát használtunk, a csomópontokban a szétválasztási kritériumok meghatározásához pedig független változók négyzetgyökével egyenlő számú, véletlenszerűen kiválasztott prediktort használtunk. A modellt iteratív módon háromszor futtattuk, futásonként 10 ismétléssel, vagy addig, amíg konzisztens eredményt nem értünk el, azaz amíg nem volt különbség a modell két egymást követő futtatásának eredménye között. A modell segítségével minden Európát lefedő szegmenst besoroltunk a tanuló területek által kijelölt fafaj-kombinációkba. Ez a fajok nyers elterjedési térképét eredményezte (2A. ábra). Ez a térkép még nem tekinthető a referencia-időszak végeredményének, mivel extrapolált területeket is tartalmazott. Extrapoláció alatt azt értjük, hogy a becslésben olyan szegmensek visszatérési értéke is szerepelt, amelyek bioklimatikus paraméterei az adott fafaj kombinációra nézve a tanulóterületek által meghatározott tartományon kívülre estek. Ezért a modellünk becsléseit az egyes fafajok bioklimatikus változóira felvett és a tanulóterületek által lefedett éghajlati tartományra kellett korlátoznunk. Ezt fafajonként egy maszkréteg kialakításával sikerült elérni, amely – az összes bioklimatikus változó figyelembevételével – meghatározta azt a térbeli tartományt, amelyben az összes változó értéke a tanulóterületek által kijelölt határokon belül marad (2B. ábra). Így lehet meghatározni azt a teret, amelyben az adott fafajra vonatkozó modellbecslés érvényes becslésnek tekinthető. A nyers becslési területet a modell által az adott fafajokhoz rendelt térbeli tartományra szűkítve a fafajok klímaburkainak extrapolációi nélküli, végleges földrajzi vetülete felvázolható (2C. ábra).

Az extrapoláció mentes éghajlati burkolófelületek fafajonkénti összevonásával a rendelkezésre álló adatokból összeállítottuk a referencia időszakra vonatkozó, európai fafaj elterjedési térképeket. Pontosabban azokat a térképeket, amelyek a fafajok számára a klimatikusan megfelelő területek, referencia időszaki földrajzi kiterjedését mutatják. A másik három jövőbeli időszakra és két kibocsátási forgatókönyvre az éghajlati burkolófelület térképeket a megfelelő bioklimatikus raszterek szegmentálásával készítettük elő. A szegmentálás után lefuttattuk a random forest modellt a hat éghajlati



forgatókönyv-változatnak megfelelő szegmentált térképváltozatokon is. Mind a hat térképhez fafajonként meghatároztuk az extrapoláció mentes klímaburok területeket. Végül a területmaszkok segítségével elkészítettük a reálisan becsülhető optimális klímaburkokat. (A becsült időszakok raszterei a következő figshare adattárban érhetők el: Illés & Móricz, 2022.)



2. ábra: Példa a csertölgy éghajlati burkának becslési fázisaira a referencia időszak (1961–1990) esetében: (A) a modell nyers becslése, (B) a tanulóterületek paramétereitől potenciálisan becsülhető terület, (C) az extrapoláció nélküli valós éghajlati burk becslés, miután a nyers becslést korlátoztuk a becsülhető terület kiterjedésére

Figure 2: Example of the estimation phases of the climate envelope for Turkey oak in the case of the reference period (1961–1990): (A) raw estimate of random forest model, (B) the potentially predictable area based on the parameter ranges of training areas, (C) the extrapolation-free real climate envelope estimation after clipping the raw estimate with the predictable area

### Ökológiai jellemzők szerinti fafajcsoportosítás

Mivel a kilenc faj és ezek kombinációi 30 különálló osztályt alkottak, az áttekinthetőség kedvéért érdemesnek tartottuk az osztályokat nagyobb csoportokba vonni. Ezek a nagyobb kompozitok a fafajok vízigényén és tipikus erdőtípusokban való jelenlétén alapultak. Véleményünk szerint a makroklimatikus vízigény és a fafajokhoz rendelhető jellemző erdőtípusok kiterjedése jól használhatók a klímaváltozás hatásának értelmezésére. A kompozitok meghatározásakor a jellemző, domináns fafajokat tekintettük irányadónak. Példaként az egyik véglet az üde elegyes fenyő-lomb erdők esete, amelyet fafajaink közül a bükk és lucfenyő együttes jelenléte jellemez. A másik véglet a xerofita lombos erdő esete, amely fafajaink közül jellemzően a molyhos- és csertölgy kombinációja. A fajkompozitok összetételét a 2. táblázat mutatja be. Megvizsgáltuk, hogyan változott a 2. táblázatban meghatározott kompozitok területe a különböző forgatókönyvek között.

### A térképi eredmények statisztikai értékelése

Wunderlich et al. (2019) nyomán az alábbi statisztikákat használtuk a térképezési teljesítmény értékelésére. Modellünk összetévesztési mátrixát a helyesen és helytelenül osztályozott szegmenst területe alapján állítottuk össze. Az alkalmazott statisztikák a következők voltak:

- általános pontosság: (valós elfoglalt terület + valós nem elfoglalt terület) / teljes terület;
- érzékenység: valós elfoglalt terület / (valós elfoglalt terület + hamis elfoglalt terület);
- specifikusság: valós nem elfoglalt terület / (valós nem elfoglalt terület + hamis nem elfoglalt terület);
- valós mintázat követés: érzékenység + specifikusság – 1.

A fenti felsorolásban a valós elfoglalt terület azon vizsgálati szegmensek területét jelenti, amelyek helyesen lettek hozzárendelve ahhoz a fafajhoz, amelynek teszt pontjai az adott szegmensekbe estek. A valós nem elfoglalt terület azon tesztszegmensek területét jelenti, ahol a modell nem sorolja a szegmenseket az adott fajhoz, és az nem is tartalmaz teszt pontokat az adott fafajra nézve. A teljes terület az adott fajhoz tartozó tesztszegmensek teljes területét jelenti. A hamis elfoglalt terület azon tesztszegmensek területét jelöli, amelyek egy adott fajhoz hibásan lettek hozzárendelve. A valós nem elfoglalt terület azon tesztszegmensek területét jelenti, amelyek az adott fajra nézve helyesen kerültek a nem elfoglaltnak osztályozott területek közé. A hamis nem elfoglalt terület azon tesztszegmensek területét jelöli, amelyek az adott fajhoz hibásan lettek hozzárendelve nem elfoglalt területként.

2. táblázat: *Fafajok és fafaj kombinációk kompozitokba sorolása az ökológiai jellemzőik alapján pl. mezofil, xerofita, termofil vagy hidegtűrő*

Table 2: *Classification of tree species and groups of tree species into composites based on the basic species characteristics e.g. of being mesophilic, xerophytic, thermophilic, or cold tolerant*

Fafaj kompozitok	Fafajok és kombinációik
Üde fenyőerdők	LF, EF-LF
Elegyes üde fenyő-lomb erdők	KST-EF, KST-LF, KTT-LF, B-EF, B-LF
Üde lomberdők	KST, B, KST-B, KTT-B
Mezofil fenyőerdők	EF
Mezofil lomberdők	KTT, MAT, KST-KTT, KST-CS, KTT-CS, CS-B
Elegyes mezofil fenyő-lomb erdők	KTT-EF
Szárazságtűrő fenyőerdők	FF
Szárazságtűrő lomberdők	MOT, CS
Elegyes szárazságtűrő fenyő-lomb erdők	MOT-EF, MOT-FF

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

### *Becslési pontosság*

Az elkészített térképeket a referencia időszakra vonatkozóan pontossági tesztnek vetettük alá. Az elterjedési pontokból validációs célból elkülönített tesztminta alapján ellenőriztük, hogy modellünk térbeli becslése mennyire volt pontos a referencia időszakra vonatkozóan (3. táblázat).

A 3. táblázatban található pontossági mérőszámok azt mutatják, hogy modellünk a legtöbb fafaj átlagában jól rekonstruálja a tényadatokat. Az általános pontosság, érzékenység és specifikusság értékei azonos, 0 és 1 közötti tartományban értelmezhetők. Minél közelebb vannak ezek az értékek az egyhez, annál jobb a modell teljesítménye, ugyanakkor nem lehet egyszerre mindegyikre optimalizálni a modelleket. Az erdei fenyő (EF) mutatta a legrosszabb pontossági és specifikussági értékeket (0,84). Az összes többi fajnál ezek az értékek elérték vagy meghaladták a 0,9-et. Az érzékenység gyengébb eredményeket mutatott, különösen a magyar tölgy (MAT) esetében, amely a legkisebb és leglokalizáltabb elterjedési területtel rendelkezik. Általánosságban elmondható, hogy minél elterjedtebb egy faj, annál nagyobb érzékenységi értéket ért el a modell. A valós mintázat követési

mérőszám  $-1$  és  $+1$  között értelmezett értékei (mely a  $+1$ -hez közelítve számít egyre jobbnak) mind a kilenc esetben meghaladják a  $0,5$ -öt, öt esetben a  $0,6$ -ot, két esetben a  $0,7$ -et. Összességében  $0,51$  és  $0,86$  között mozog ez az érték, ami jelzi, hogy a modell hatékonyan követi az előfordulási mintázatokat.

3. táblázat: A modell pontossági mutatói az egyes fafajok esetében  
Table 3: Accuracy of the model for the investigated tree species

Fafajok	Általános pontosság	Érzékenység	Specifikusság	Valós mintázat követés
B	0,95	0,60	0,96	0,56
LF	0,90	0,73	0,90	0,63
FF	0,97	0,58	0,98	0,55
EF	0,84	0,69	0,84	0,53
CS	0,97	0,79	0,97	0,76
MAT	0,99	0,51	0,99	0,51
KTT	0,96	0,69	0,96	0,65
MOT	0,97	0,90	0,97	0,86
KST	0,90	0,74	0,90	0,64

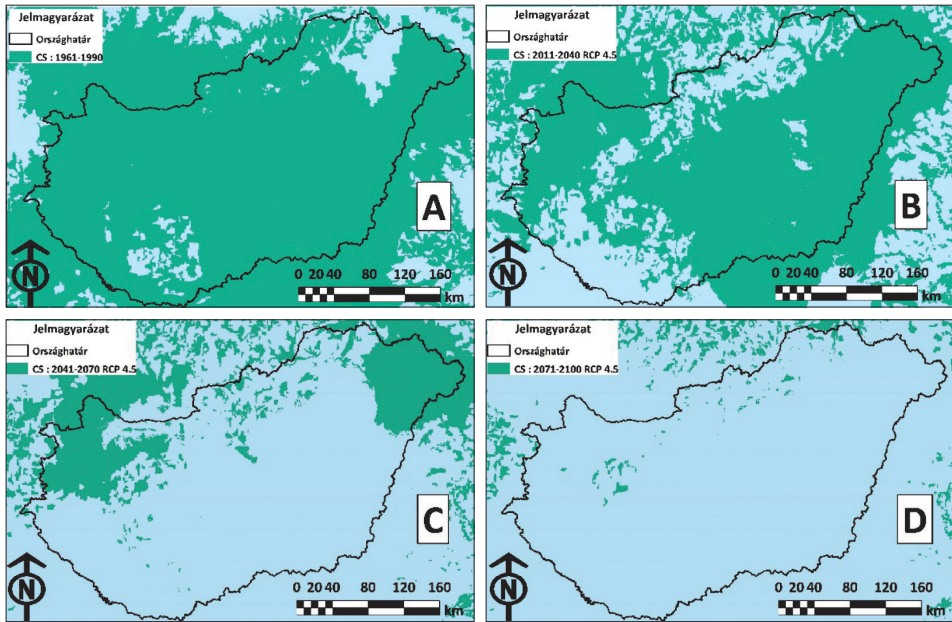
### Magyarországra vonatkozó térképi eredmények

Az alábbiakban bemutatunk néhány konkrét fafajra vonatkozó térképi eredményt (3–7. ábrák). A területi korlátok miatt a tanulmányban csak a tölgyekre vonatkozó eredményeket tárgyaljuk, és csak az RCP 4.5 klímaforgatókönyv szerinti változásokat mutatjuk be. Az elemzéshez felhasznált klíma modellek az RCP 4.5 scenárió szerint az éves középhőmérséklet emelkedését jelzik Magyarországon (2011–2040:  $+1,7$  °C, 2041–2070:  $+2,5$  °C és 2071–2100:  $+3,1$  °C). Ugyanakkor az évi ( $+5\%$ ) és a nyári csapadék ( $-10\%$ ) mennyiségében is csak kis mértékű változást mutatnak a század végére az 1961–1990 közötti időszakhoz képest.

A csertölgy klímaburkának földrajzi kiterjedés változását a 3. A, B, C, D ábrák mutatják.

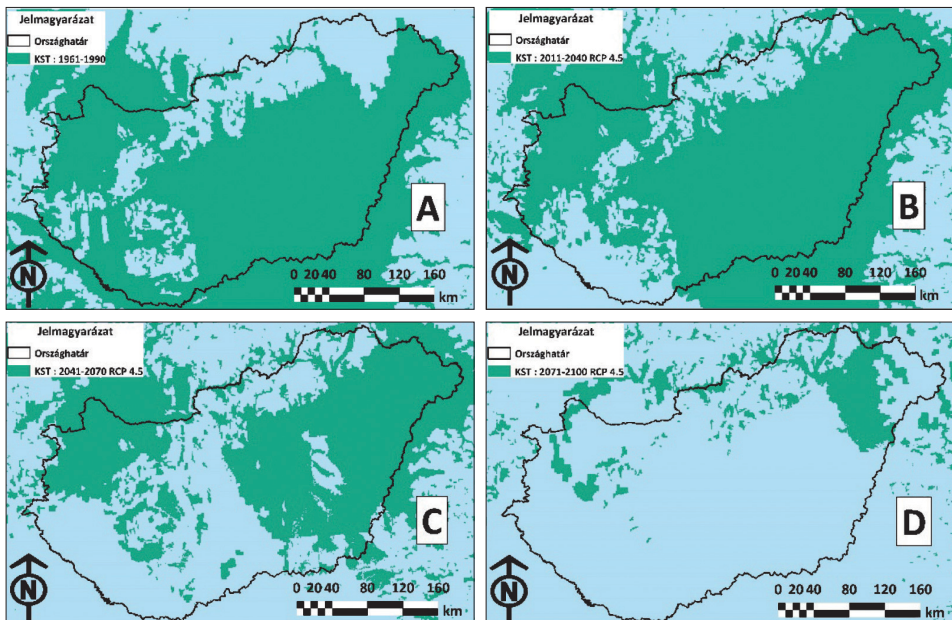
A 3. ábrán látható, hogy a csertölgy számára optimális klimatikus adottságokkal rendelkező területek kiterjedésében az optimistább klímaváltozási forgatókönyvek mellett is jelentős átrendeződést és csökkenést várhatunk. Míg a bázisidőszakban csaknem az ország egész területe megfelelő klimatikus adottságokat nyújtott, addig e század végére a helyzet gyökeresen megváltozhat és csak a magasabb hegyvidékeinken prognosztizálnak a modellek a csertölgy számára optimális feltételeket. A század közepére – kevés kivételtől eltekintve – a csertölgy számára kedvező, makroklimatikus feltételeket a hegyvidékeinken, az azoktól ÉNY-ra fekvő országrészekben, valamint a Nyírség tájain kell keresni. Úgy találtuk, hogy habár Európa más területein a csertölgy számára kedvezőbb klimatikus feltételeket teremt a klímaváltozás más fajok rovására, nálunk a legtöbb vizsgált fafaj esetében a klímater jelentős szűkülésével kell számolni a jövőben.

A kocsányos tölgy klímaburkának földrajzi kiterjedés változását a 4. A, B, C, D ábrák mutatják.



3. ábra: A csertölgy klímaburkának magyarországi földrajzi vetülete időszakonként az RCP 4.5 forgatókönyv szerint

Figure 3: The geographical extent of the climate envelope of Turkey oak according to scenario RCP 4.5 for Hungary and for the investigated time frames



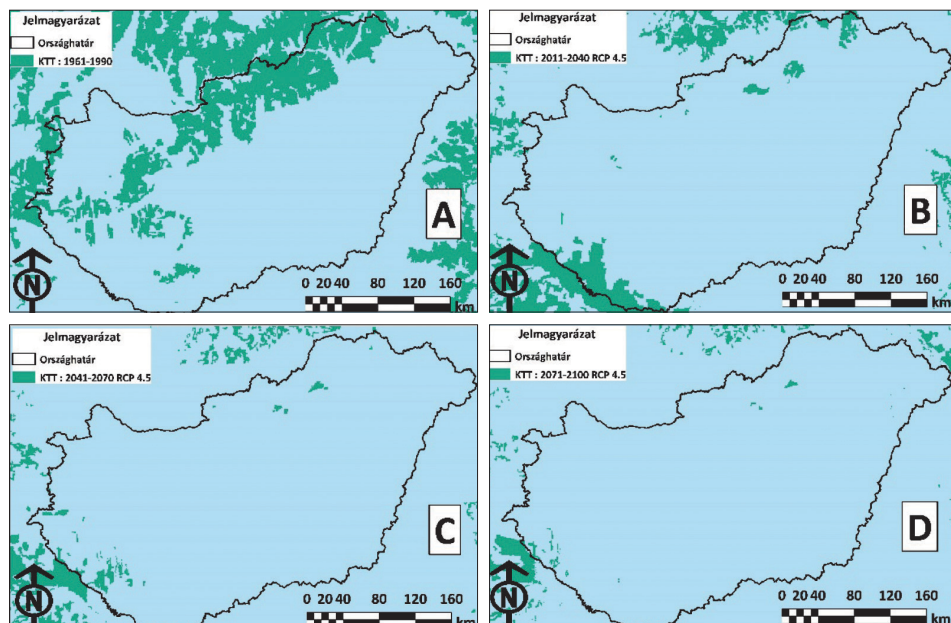
4. ábra: A kocsányos tölgy klímaburkának magyarországi földrajzi vetülete időszakonként az RCP 4.5 forgatókönyv szerint

Figure 4: The geographical extent of the climate envelope of pedunculate oak according to scenario RCP 4.5 for Hungary and for the investigated time frames



A kocsányos tölgy számára kedvező klimatikus adottságú területek kiterjedésében is csökkenést prognosztizáltak a modellek. Habár a csökkenés kevésbé drasztikus, mint a csertölgy esetében, még mindig jelentősnek mutatkozik. A század végére az optimális klimatikus adottságokkal bíró területek az Észak-alföldi régióra, az előhegységi területekre valamint a Kisalföld NY-i részére korlátozódnak. Ugyanakkor a század közepén még az ország ÉNY-i területei, a Somogyi-domb-ság, valamint az Alföld jelentős része klimatikus adottságaiban nem kerül kívül a kocsányos tölgy klíma burkán.

A kocsánytalan tölgy klímaburkának földrajzi kiterjedés változását az 5. A, B, C, D ábrák mutatják.

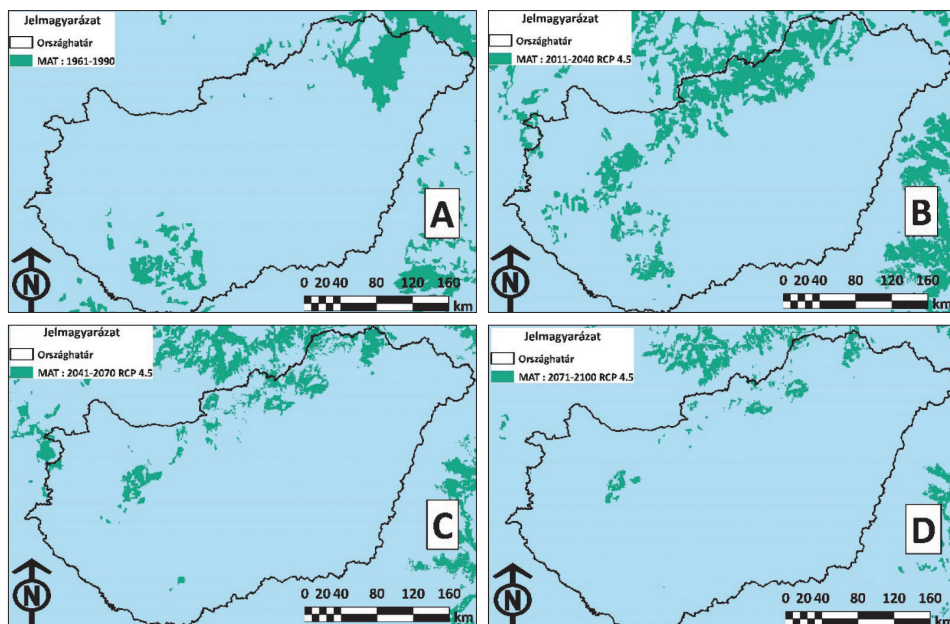


5. ábra: A kocsánytalan tölgy klímaburkának magyarországi földrajzi vetülete időszakonként az RCP 4.5 forgatókönyv szerint

Figure 5: The geographical extent of the climate envelope of sessile oak according to scenario RCP 4.5 for Hungary and for the investigated time frames

A kocsánytalan tölgyet, mint mezofil, domb- és hegyvidéki fajunkat érinti talán legdrasztikusabban a klímaváltozás miatti átrendeződés. Az európai adatokon tanított modelljeink nagyon szépen visszaadták a faj hazai elterjedésének gerincét jelentő domb- és hegyvidéki területeket. A becslések szerint már jelenleg is, tehát a 2011–2040 időszakra nézve is jelentősen eltolódott e faj számára optimális területek elhelyezkedése. Szinte teljesen kedvezőtlené alakult a klíma e faj számára a Dunántúli-középhegységben, és az Északi-középhegységben is. Csak a Mátra, a Bükk és a Zemplén területén mutatkozik nagyobb, egybefüggő és klimatikusan kedvező terület. A Dunántúlon a DNY-i határ mentén látható még optimális klimatikus adottságú régió, melyek aztán – a hegyvidéki területekkel együtt – az idő előrehaladtával zsugorodnak egyre kisebb területű foltokká a század végére.

A magyar tölgy klímaburkának földrajzi kiterjedés változását a 6. A, B, C, D ábrák mutatják.



6. ábra: A magyar tölgy klímaburkának magyarországi földrajzi vetülete időszakonként az RCP 4.5 forgatókönyv szerint

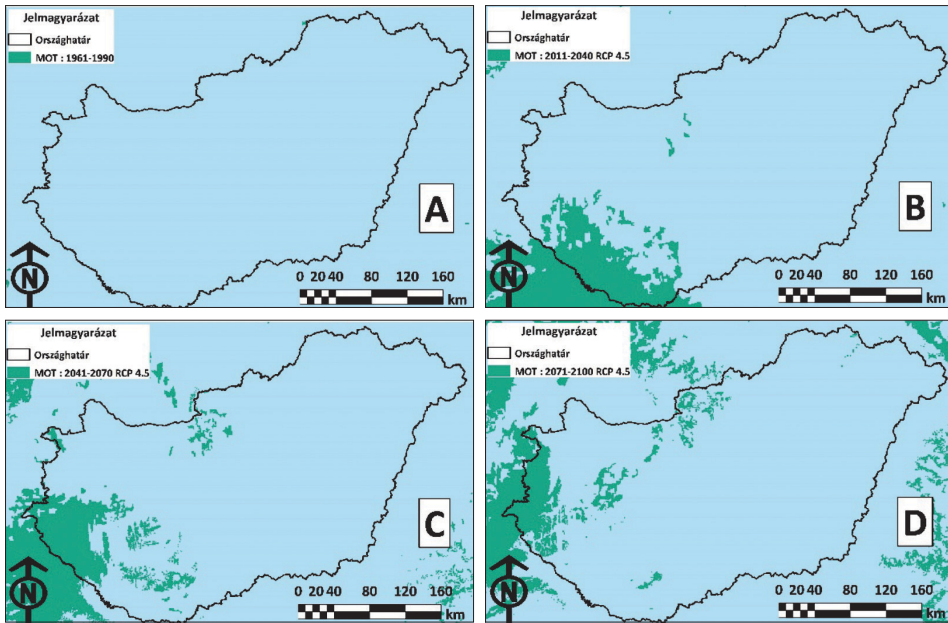
Figure 6: The geographical extent of the climate envelope of Hungarian oak according to scenario RCP 4.5 for Hungary and for the investigated time frames

A magyar tölgy esetében azt láttuk az eredményekből, hogy a bázisidőszakra nézve DNY Magyarországon és ÉK-en voltak meg a faj számára kedvező klimatikus feltételek. Ugyanakkor a jelenlegi időszakban a kocsánytalan tölgy számára korábban kedvező klímájú területeken érvényesül olyan klímahatás, ami a magyar tölgynek kedvező. Középhegységeinkben az évszázad végéig megtalálhatja klimatikus igényeit a magyar tölgy, bár nem akkora kiterjedésben, mint korábban elképzelhetőnek tartottuk. Meglepő eredménynek tartjuk, hogy a Dél-dunántúli területeken már a század második felére eltűnnek a faj számára kedvező makroklimatikus hatások, a század végére pedig a NY-i országrészben sem érvényesül majd a magyar tölgynek kedvező makroklima hatása.

A molyhos tölgy klímaburkának földrajzi kiterjedés változását a 7. A, B, C, D ábrák mutatják.

Tölgyeink közül talán a molyhos tölgy (7. ábra) az egyetlen, amelynek kedvező fordulatokat hozhat a klímaváltozás. Az európai modellekben is területi növekedést mutatott (Illés & Móricz, 2022). Az eredményekből az látszott, hogy a bázisidőszak klimatikus feltételei mellett nem jelentek meg nagyobb, egybefüggő területen a molyhos tölgy európai elterjedésére jellemző makroklimatikus viszonyok. Ugyanakkor a jelenlegi 30 éves periódusban DNY Magyarországon már számottevő területeken érvényesül olyan klímahatás, ami a molyhos tölgynek kedvező. Ez némiképpen megváltozik a század végére, de a jelenlegi modellszámítások szerint főként a Dunántúli-középhegységben és a Mecsekben, valamint az Alpokalján és Zalában jelentős területeken e tölgyfaj elterjedésének fognak kedvezni a klimatikus feltételek.





7. ábra: A molyhos tölgy klímaburkának magyarországi földrajzi vetülete időszakonként az RCP 4.5 forgatókönyv szerint

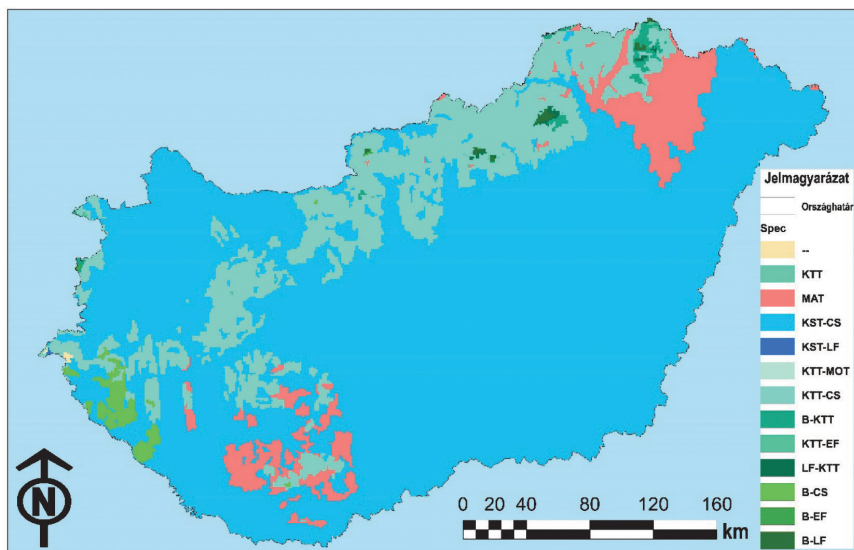
Figure 7: The geographical extent of the climate envelope of downy oak according to scenario RCP 4.5 for Hungary and for the investigated time frames

### A vizsgált fajokból képzett fajkompozitokra jellemző klímateretek térfoglalásának változása

Az alábbi ábrákon (8–11. ábrák) azt mutatjuk be, hogy miként változik a vizsgált fajokból képzett fajkompozitokra jellemző klímater kiterjedése Magyarországon a bázisidőszak és a század vége között, feltételezve az RCP 4.5 forgatókönyv megvalósulását.

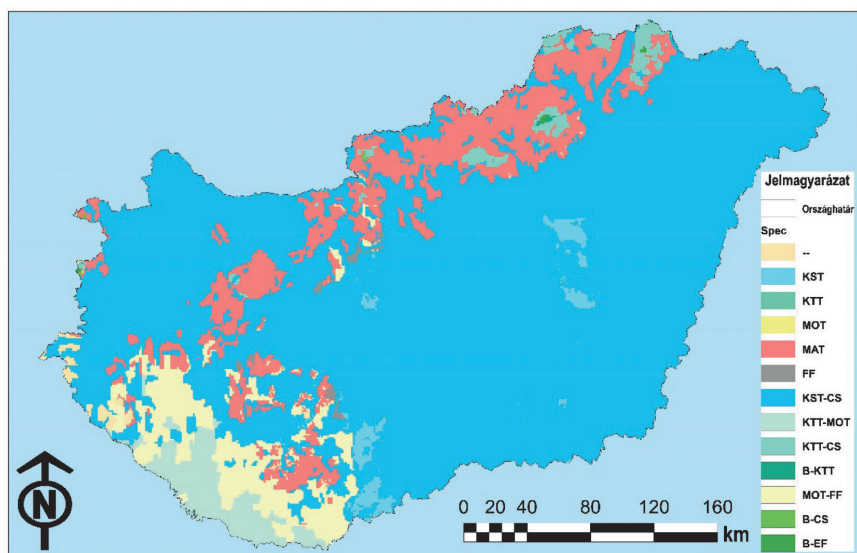
A 8. ábra a referencia időszakra mutatja a vizsgált fajok és kombinációik előfordulására jellemző klimatikus feltételekkel jellemzett területek hazai előfordulását. Az európai fajok elterjedési adataiból készült modell szépen visszaadja a bükkösök, a kocsánytalan és kocsányos tölgyesek, valamint a cseresek hazai előfordulásainak súlypontjait.

A 8. ábrán a magyar tölgy példája jól demonstrálja, hogy mi a munkánk során nem a fajok fellelhetőségét becsüljük, vagy jelezzük előre, hanem azt igyekszünk modellezni, hogy mely területeken van meg a lehetőség arra, hogy az adott faj a klimatikus összhatás alapján ott megjelenhessen. Az, hogy egy adott helyen alkalmas a klíma egy faj számára, nem jár automatikusan annak megjelenésével, hiszen ahhoz, hogy egy faj megjelenjen egy adott helyen, több más feltételnek is teljesülnie kell. Mivel azonban a faj számára alkalmas klimatikus niche kiterjedését a faj dokumentált előfordulásai alapján számítjuk, a modellünk jó eséllyel jelzi a klimatikusan alkalmas területek teljes kiterjedését függetlenül attól, hogy a faj jelen van-e az adott helyen, vagy nincs. Ennek különösen nagy jelentősége van a 9–11. ábrák esetében azoknak a területrészeknek a vonatkozásában, ahová a modellünk nem jelzett egyetlen fajt sem a vizsgált kilenc főfafaj közül.



8. ábra: A vizsgált fajok előfordulására jellemző klímateretek földrajzi leképezése a referencia (1961–1990) időszakra nézve

Figure 8: The geographic projection of climatic space describing the occurrence of the investigated species for the reference period of 1961–1990



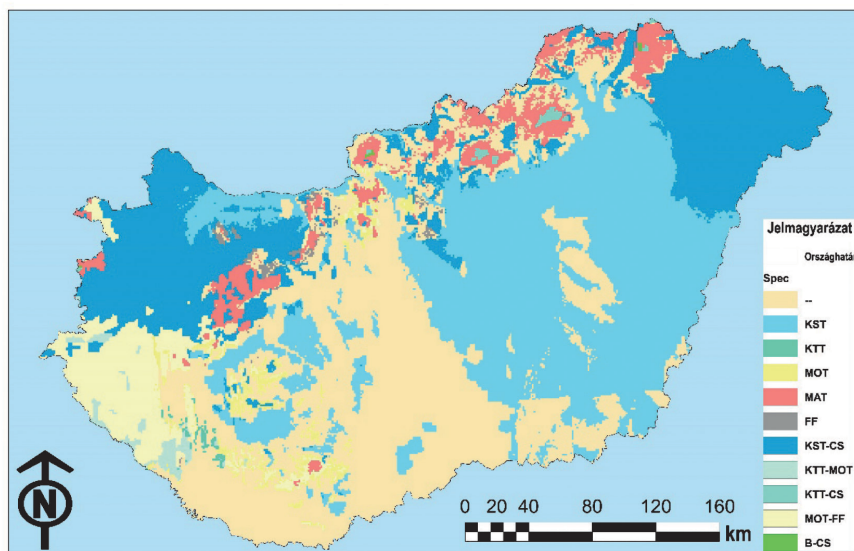
9. ábra: A vizsgált fajok előfordulására jellemző klímateretek földrajzi leképezése a jelenlegi (2011–2040) időszakra nézve

Figure 9: The geographic projection of climatic space describing the occurrence of the investigated species for the present period of 2011–2040

Modelljeink előrejelzései a fajokra jellemző klímateretek hazai, földrajzi elhelyezkedésére vonatkozóan, a jelen időszakra már mutatnak változásokat, de még nem annyira drasztikus mértékben

(9. ábra). Ezzel együtt a leginkább szembetűnő változás, hogy jelentősen csökken az üde lomb- és lombergyes fenyőerdőkre jellemző klímaterület kiterjedése, valamint, hogy a korábban a kocsánytalan tölgyre jellemző területek klimatikus adottságai ma már inkább a magyar tölgy által elfoglalt élőhelyek korábbi klimatikus adottságait idézik. Ugyancsak szembetűnő a száraz lomb- és fenyőlelgyes erdőkre jellemző klímaterület terjedése (MOT, FF) elsősorban a dél-magyarországi régiókban.

A mérsékelt kibocsátási forgatókönyv alapján a jelentősebb hatásokkal járó változások e század közepétől biztosan rányomják bélyegüket erdőgazdálkodásunkra, legalábbis ami az őshonos fajokkal való gazdálkodás biztonságát és tervezhetőségét illeti (10. ábra). Erre az időszakra az üde lomb- és lomberdők klimatikus adottságainak megfelelő területek a legmagasabb hegyvidékeink területére szorulnak vissza, elsősorban a Mátra, a Bükk, a Börzsöny, Zemplén és a Kőszegi-hegység területén. Tovább növekszik a száraz lomberdők klímaterülete, de még tartja magát a magyar tölgyesekre jellemző klíma a hegyvidékek jelentős részén, mintegy 450 ezer ha-on. A modellszámítások szerint viszont kb. az ország harmadán olyan klimatikus feltételek fognak uralkodni, amelyekhez hasonlót a vizsgált kilenc faj teljes európai elterjedési területén nem lehet ma találni. Vagyis ezekre a területekre ezekből a főfajainkból várhatóan sehonnán nem lehet majd előadaptálódott szaporítóanyagot gyűjteni.



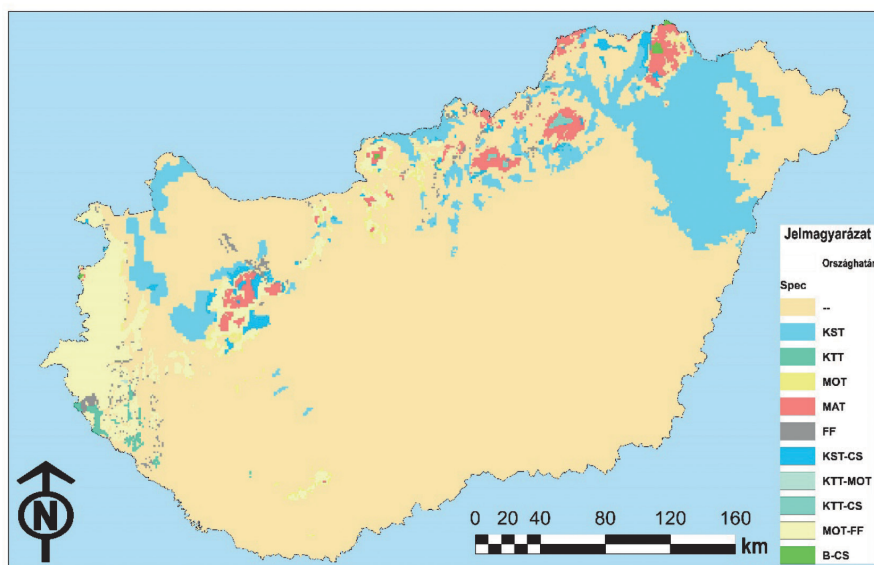
10. ábra: A vizsgált fajok előfordulására jellemző klímaterületek földrajzi leképezése a közeli jövő (2041–2070) időszakra nézve

Figure 10: The geographic projection of climatic space describing the occurrence of the investigated species for the near future period of 2041–2070

Ennek az előremetszésnek igen nagy jelentősége van a klímaváltozásnak kitett erdeink természetközeli – vagy csak a jelenlegi erdőképhez hasonló – állapotban való megőrzésének szempontjából. Hiszen ha sehhol Európában nem találunk majd olyan szaporítóanyag forrásokat, ahonnan legalább valamennyire előadaptálódott szaporítóanyagot lehetne hozni ezen erdőállományok felújítása érdekében, akkor rendkívül bizonytalaná válhat az érintett erdőterületek fenntarthatósága a jelenlegi fő állományalkotó és őshonos fajok alkalmazásával. A helyzet az évszázad végére tovább

eszkálálódhat (11. ábra), mivel addigra ez az állítás már az ország területének háromnegyedén is igaz lehet. Ezek miatt úgy gondoljuk, hogy nem halasztható a célirányos és tervszerű beavatkozások előkészítése és a problémakör további intenzív vizsgálata.

A megoldások keresésében a SOE-ERTI létrehozott egy új modult a SiteViewer döntéstámogató szoftveren belül, amely a megfelelő szaporítóanyag források azonosításában igyekszik segítséget nyújtani a felhasználóknak ([www.ertigis.hu](http://www.ertigis.hu)), de e mellett további erőfeszítéseket is teszünk a kutatási programok bővítése révén.



11. ábra: A vizsgált fajok előfordulására jellemző klímateretek földrajzi leképezése a távoli jövő (2071–2100) időszakra nézve

Figure 11: The geographic projection of climatic space describing the occurrence of the investigated species for the distant future period of 2071–2100

Európa egészére kitekintve a jelenleg domináns fajok potenciális elterjedési területei jelentős változás előtt állnak a mérsékelt éghajlati forgatókönyv (RCP 4.5) szerint. Egyes jelentősebb fajok, így a lucfenyő, a bükk és az erdei fenyő elterjedési területe jelentősen, több, mint 40%-kal csökkenhet a síkvidékeken a jelen század folyamán Európában. A potenciálisan alkalmas területek kisebb, de jelentős csökkenése várható a kocsánytalan tölgy és a magyar tölgy esetében is (kb. 30%). A kocsányos tölgy és feketefenyő esetében kisebb, 20% alatti elterjedés csökkenést jelez a modell. A molyhos és a csertölgy potenciális alternatív fajokká válhatnak, mivel potenciális elterjedési területük nagyrészt megmaradhat, vagy akár jelentősen (>40%) meg is növekedhet Európában, attól függően, hogy melyik forgatókönyv válik valóra. Mindkét forgatókönyv esetén jelentősen (több mint 100%-kal) növekszik a bizonytalan területek aránya, vagyis olyan területek, amelyek várható éghajlati viszonyai kívül esnek mind a kilenc faj jelenleg ismert európai elterjedési területein. Ez jelentős alkalmazkodási kockázatot jelent.

### A modellezés és előrejelzés bizonytalanságai

A modellezés során a klímamodellek konszenzusos eredményét használtuk fel, mivel az minden előrejelzési klasztert figyelembe vett (összesen 15) és minden klaszterből a legjobb validációjú 1–2 modellt használták fel az ensemble előrejelzés készítésekor (Marchi et al. 2020). Az alkalmazott klímamodellek (RCP 4.5) esetén a konszenzusos értéktől való eltérés az évi középhőmérsékletben egy  $-1.7^{\circ}\text{C}$ -tól  $+1.3^{\circ}\text{C}$ -ig terjedő intervallumot jelent az évszázad végére. Hasonlóan az évi csapadékmennyiségre  $-15\%$ -tól  $+20\%$ -ig, valamint a nyári csapadékösszegre pedig  $-30\%$ -tól  $+25\%$ -ig terjedő eltérés tartomány jellemző a század végére számított konszenzusos értékekhez képest. Egy fontos jövőbeni feladat volna megvizsgálni, hogy az egyes klímamodellek előrejelzések közötti különbségek milyen mértékben befolyásolják az egyes fajok elterjedését. Bár a modellünket hosszú távú éghajlati adatokból (1961–1990) képeztük, az magában foglal egy adott változékonyságot is. Az éghajlatváltozás azonban nem feltétlenül jár együtt állandó klíma variabilitással. A klímaváltozás miatt ugyanis az éghajlat változékonysága várhatóan növekedni fog, ami a szélsőségek növekedéséhez vezethet (Rajczak & Schär 2017). A modellezés során a 30 éves éghajlati átlagok változásait vettük figyelembe, ez azonban nem veszi figyelembe a várhatóan növekvő változékonyságot (pl. aszályok). A fajok előfordulására vonatkozó előrejelzésünk valószínűleg optimista, mivel a vizsgált fajok az előre jelzettnél valószínűleg jobban veszélyeztetettek pl. az aszály okozta mortalitás miatt (Allen et al. 2015; Senf et al. 2020). Továbbá a modelljeink négyzetkilométer felbontású klimatikus adatokon alapulnak, így az erősen tagolt domborzatú területeken nem tudják figyelembe venni az eltérő lejtés és kitétség miatt kialakuló mikro- és mezoklimatikus viszonyokat, ahol a fajok akkor is fennmaradhatnak, ha a makroklima egyébként már jelentős mértékben elmozdult a területen.

Azt is meg kell jegyezni, hogy a fajok klímaburkai a modellben kisebbek lehetnek, mint a valóságban, mivel a fajok elterjedtebbek, mint azt a jelenléti adataink leírják. A szűkebb becslés mérsékelheti a szélsőségek hatásait, mivel azok erősebben hatnak az elterjedés szélén, mint a faj magterületén. Ebből következően nem vettünk figyelembe ezt a pozitív hatást, de cserébe a szélsőségek negatív hatását sem.

Bár a talajadatok bevonása a modellekbe javíthatja a teljesítményüket, úgy döntöttünk, hogy nem használunk olyan talajadatbázisokat, mint a SoilGrids (Hengl et al. 2014), vagy a FAO harmonizált talajadatbázisa (Fisher et al. 2008). A rács alapú talajinformációkat általában olyan modellezéssel állítják elő, mely magassági modellekből, éghajlati fedvényekből vagy akár növényzet-alapú változókból (pl. evapotranspiráció) származó jellemzőket tartalmaz. Ez alig kezelhető, rejtett kapcsolatokat eredményezne a prediktorok és a célértékek között. Ezen túlmenően a rácsosított talajadatok használata a modelljeink bizonytalansági fokát növelné, a talajmodellek térben változó minőségének megfelelően. Ezenkívül a klímaváltozás szükségszerűen változásokat okoz a talajban is. Az éghajlatváltozási adatokkal ellentétben azonban nem áll rendelkezésre adatkészlet a talajváltozásról, ami azt eredményezné, hogy a modell egyik prediktora idővel állandó marad. Végül, annak ellenére, hogy a globális talajterképek névleges felbontása akár 250 m is lehet, a valóságban nagy területek ugyanazt a talajcsoportot vagy talajtípust tartalmaznak ezeken a térképeken.

A modellünk csak az éghajlati változásokat tükrözi a fajok elterjedésének vizsgálatakor, így nem tudja figyelembe venni az adott területen a klímaváltozás miatt fellépő új biotikus kártevők hatását, mely jelentősen veszélyeztetheti a produkciót, az egészségi állapotot és az ökoszisztéma-szolgáltatási képességet (Anderegg et al. 2015; Kern et al. 2021).





Végül a modellezést feltehetően negatívan befolyásolták a különböző emberi beavatkozások (mesterséges felújítás, szelekció) hatásai a fajok jelenlegi elterjedésére, mivel a múltban nagyon jelentős antropogén hatások érték az európai erdők fajösszetételét (Kirby & Watkins 2015).

## ÖSSZEFOGLALÁS

Európai faj-elterjedési adatok és klímamodellek felhasználásával modelleztük kilenc, állományalkotó fajunk klímaburkának múltbeli és jövőbeli földrajzi kiterjedését és annak változását. Az eredményeink – összhangban más hazai kutatási eredménnyel (pl. Czúcz et al. 2011; Führer et al. 2011; Gálos et al. 2015; Mátyás et al. 2018) – azt mutatták, hogy az idő előrehaladtával, a mérsékelt klímaváltozási előrejelzések esetén is, az őshonos főfajaink számára kedvező klimatikus feltételek egyre kevésbé lesznek jelen hazánkban. A század közepére az ország kb. 1/3-án olyan klimatikus adottságok várhatók, melyekhez európai léptékben sem valószínű, hogy találunk előadaptálódott populációkat a majdani erdőfelújításokhoz. A század végére ez az arány az ország 3/4-ét is kiteheti. Nagy jelentősége van annak, hogy részleteiben vizsgáljuk a hazai termőhelyek változását és próbáljuk követni és folyamatosan aktualizálni az erdészeti szaporítóanyag források legoptimálisabb lehetőségeit, hogy amennyire csak lehet, felkészítsük az őshonos fajokból álló erdeink állományait a drasztikus éghajlati változások következményeire. Ehhez az erőfeszítéshez a SOE-ERTI a döntéstámogató eszközeinek fejlesztésével igyekszik hozzájárulni.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

- Allen C.D., Breshears D.D. & McDowell N.G. 2015: On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6: 1–55. <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>
- Anderegg W.R.L., Hicke J.A., Fisher R.A., Allen C.D., Aukema J., Bentz B., Hood S., Lichstein J.W., Macalady A.K., McDowell N., Pan Y.D., Raffa K., Sala, Shaw J.D., Stephenson N.L., Tague C. & Zeppel M. 2015: Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytologist* 208(3): 674–683. <https://doi.org/10.1111/nph.13477>
- Barbet-Massin M., Jiguet F., Albert C.H. & Thuiller W. 2012: Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution* 3: 327–338. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00172.x>
- Bodribo T.J., Powers J., Cochard H. & Choat B. 2020: Hanging by a thread? Forests and drought. *Science* 368(6488): 261–266. <https://doi.org/10.1126/science.aat7631>
- Buras A., Schunk C., Zeirträg C., Herrmann C., Kaiser L., Lemme H. et al. 2018: Are Scots pine forest edges particularly prone to drought-induced mortality? *Environ. Res. Lett.* 13: 025001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa0b4>



- Buras A. & Menzel A. 2019: Projecting Tree Species Composition Changes of European Forests for 2061–2090 Under RCP 4.5 and RCP 8.5 Scenarios. *Front. Plant Sci.* 9:1986. doi: 10.3389/fpls.2018.01986
- Breiman L. 2001: Random forests. Statistics Department. University of California, Berkeley. pp.32. <https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/randomforest2001.pdf>
- Cailleret M., Jansen S., Robert E.M.R., Desoto L., Aakala T., Antos J.A. et al. 2017: A synthesis of radial growth patterns preceding tree mortality. *Glob. Change Biol.* 23: 1675–1690. <https://doi.org/10.1111/gcb.13535>
- Chakraborty D., Wang T., Andre K., Konnerth M., Lexer M.J., Matulla C. & Schüller S. 2015: Selecting populations for non-analogous climate conditions using universal response functions: The case of Douglas-fir in central Europe. *PloS one* 10(8), e0136357
- Choat B., Brodribb T.J., Brodersen C.R., Duursma R.A., López R. & Medlyn B.E. 2018: Triggers of tree mortality under drought. *Nature* 558: 531–539. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0240-x>
- Corlett R.T., & Westcott D.A. 2013: Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology & Evolution* 28(8): 482–488. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.04.003>
- Czúcz B., Gálhidy L. & Mátyás C. 2011: Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Annals of Forest Science* 68: 99–108. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0011-4>
- Darwish A., Leukert K. & Reinhardt W. 2003: „Image segmentation for the purpose of object-based classification,” IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat. No.03CH37477), 2039-2041, <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2003.1294332>
- Fekete I., Lajtha K., Kotroczó Z., Várбірó G., Varga C., Tóth J.A. et al. 2017: Long-term effects of climate change on carbon storage and tree species composition in a dry deciduous forest. *Glob. Change Biol.* 23: 3154–3168. <https://doi.org/10.1111/gcb.13669>
- Fischer G., Nachtergaele F., Prieler S., van Velthuizen H.T., Verelst L., & Wiberg D. 2008: Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
- Führer E., Horváth L., Jagodics A., Machon A. & Szabados I. 2011: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás* 115(3): 103–118.
- Gálos B., Führer E., Czimer K., Gulyás K., Bidló A., Hänsler A., Jacob D. & Mátyás Cs. 2015: Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County. *Időjárás* 119(4): 425–441.
- Hargreaves G.H. & Allen R.G. 2003: History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 129(1): 53–63. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2003\)129:1\(53\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:1(53))
- Halofsky J.E., Peterson D.L. & Prendeville H.R. 2018: Assessing vulnerabilities and adapting to climate change in northwestern U.S. forests. *Clim. Change* 146: 89–102. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1972-6>
- Hanewinkel M., Cullmann D., Schelhaas M.J. et al. 2013: Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Clim Change* 3: 203–207. <https://doi.org/10.1038/nclimate1687>
- Hengl T., de Jesus J.M., MacMillan R.A., Batjes N.H., Heuvelink G.B.M. et al. 2014: SoilGrids1km — Global Soil Information Based on Automated Mapping. *PLoS ONE* 9(8): e105992. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105992>
- Higgins S.I., Larcombe M.J., Beeton N.J., Conradi T. & Nottebrock H. 2020: Predictive ability of a process-based versus a correlative species distribution model. *Ecol Evol.* 10: 11043–11054. <https://doi.org/10.1002/ece3.6712>
- Illés G. & Móríc N. 2022: Species distribution of nine European tree species. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19614435.v1>
- Járó Z. 1972: A termőhely fogalma. In: Danszky I. (ed.): Erdőművelés I. 47–87.
- Kern A., Marjanović H., Csóka Gy., Móríc N., Pernek M., Hirka A., Matošević D., Paulin M. & Kovač G. 2021: Detecting the oak lace bug infestation in oak forests using MODIS and meteorological data. *Agricultural and Forest Meteorology* 306(1): 108436. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108436>
- Kuuluvainen T. 2016: Conceptual models of forest dynamics in environmental education and management: keep it as simple as possible, but no simpler. *For. Ecosyst.* 3: 18. <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0075-6>
- Mauri A., Strona G. & San-Miguel-Ayanz J. 2016: A high-resolution pan-European tree occurrence dataset. *figshare. Collection.* <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.3288407.v1>
- Mauri A., Strona G. & San-Miguel-Ayanz J. 2017: EU-Forest, a high-resolution tree occurrence dataset for Europe. *Sci Data* 4, 160123 (2017) <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.123>



- Marchi M., Castellanos-Acuna D., Hamann A., Wang T., Ray D. & Menzel A. 2020a: 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>
- Marchi M., Castellanos-Acuña D., Hamann A., Wang T., Ray D. & Menzel A. 2020: ClimateEU: Scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe. figshare. Collection. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.4846122.v1>
- 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., Beran F., Dostál J., Čáp J., Fulín M., Vejvustková M., Božič G., Balázs P. & Frýdl J. 2021: Surprising Drought Tolerance of Fir (*Abies*) Species between Past Climatic Adaptation and Future Projections Reveals New Chances for Adaptive Forest Management. *Forests* 12: 821. <https://doi.org/10.3390/f12070821>
- Rajczak J. & Schär C. 2017: Projections of future precipitation extremes over Europe: A multimodel assessment of climate simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 122: 10,773–10,800. <https://doi.org/10.1002/2017JD027176>
- Rehshuh R., Mette T., Menzel A. & Buras A. 2017: Soil properties affect the drought susceptibility of Norway spruce. *Dendrochronologia* 45: 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.07.003>
- Sallmannshofer M., Chakraborty D., Vacik H., Illés G., Löw M., Rechenmacher A., Lapin K., Ette S., Stojanovic D., Kobler A. et al. 2021: Continent-Wide Tree Species Distribution Models May Mislead Regional Management Decisions: A Case Study in the Transboundary Biosphere Reserve Mura-Drava- Danube. *Forests* 12: 330. <https://doi.org/10.3390/f12030330>
- Scherrer D., Massy S., Meier S., Vittoz P. & Guisan A. 2017: Assessing and predicting shifts in mountain forest composition across 25 years of climate change. *Divers. Distrib.* 23: 517–528. <https://doi.org/10.1111/ddi.12548>
- Schuldts B., Buras A., Arend M., Vítasse Y., Beierkuhnlein C., Damm A., Gharun M., Grams T.E.E., Hauck M., Hajek P., Hartmann H., Hiltbrunner E., Hoch G., Holloway-Phillips M., Körner C., Larysch E., Lübke T., Nelson D.B., Rammig A., Rigling A., Rose L., Ruehr N.K., Schumann K., Weiser F., Werner C., Wohlgemuth T., Zang C.S. & Kahmen A 2020: A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic Appl Ecol* 45: 86–103. <https://doi.org/10.1016/j.baee.2020.04.003>.
- Senf C., Buras A., Zang C.S. Ramming A. & Seidl R. 2020: Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nat Commun* 11: 6200. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1>
- Sousa-Silva R., Verbist B., Lomba Â., Valent P., Suškevics M., Picard O. et al. 2018: Adapting forest management to climate change in Europe: linking perceptions to adaptive responses. *For. Policy Econ.* 90: 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.01.00>
- Spinoni J., Naumann G., Vogt J. & Barbosa P. 2015: European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach. *Glob Planet Change.* 127: 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.01.012>.
- Thurm E.A., Hernandez L., Baltensweiler A., Ayan S., Rasztovits E., Bielak K., Zlatanov T.M., Hladnik D., Balic B., Freudenschuss A. et al. 2018: Alternative tree species under climate warming in managed European forests. *For. Ecol. Manag.* 430: 485–497.
- Walentowski H., Falk W., Mette T., Kunz J., Bräuning A., Meinardus C. et al. 2017: Assessing future suitability of tree species under climate change by multiple methods: a case study in southern Germany. *Ann. For. Res.* 60: 101–126. <https://doi.org/10.15287/afr.2016.789>
- Wunderlich R.F., Lin Y-P., Anthony J. & Petway J.R. 2019: Two alternative evaluation metrics to replace the true skill statistic in the assessment of species distribution models. *Nature Conservation* 35: 97–116. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.35.33918>
- Zscheischler J. & Seneviratne S.I. 2017: Dependence of drivers affects risks associated with compound events. *Sci. Adv.* 3: e1700263. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700263>
- Zscheischler J., Westra S., van den Hurk BJJM, Seneviratne SI, Ward PJ, Pitman A et al. 2018: Future climate risk from compound events. *Nat. Clim. Change* 8: 469–477. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>

Érkezett: 2022. október 05.

Közlésre elfogadva: 2023. március 10.

# KÜLÖNBÖZŐ FAFAJOK JUVENILIS KORHATÁRÁNAK MEGHATÁROZÁSA MATEMATIKAI MODELL SEGÍTSÉGÉVEL

Báder Máttyás<sup>1</sup> és Komán Huba<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet

<sup>2</sup>Budapesti Corvinus Egyetem

## Kivonat

A fatest növekedése során a bél körül kialakuló, ún. juvenilisfa határának ismerete fontos mind a faanyag számos tulajdonságának laboratóriumi vizsgálata, mind felhasználása tekintetében. A tanulmány az alkalmazott függvény megfelelőségének igazolásán kívül két fafaj rosthosszúsági értékeire is hiánypótló ismereteket ad. A kutatásba bevont juharlevelű platán (*Platanus × hybrida* Brot.) és japánakác (*Styphnolobium japonicum* (L.) Schott) fafajok rosthosszúsági értékeire illesztett telítődési függvény jól modellezi a rosthosszúság éves növekedési ütemét, segítségével megállapítható a juvenilis kor határa. A függvény megfelelőségét a magas determinációs együtthatók mindkét fafajnál alátámasztják. Juharlevelű platán esetében a juvenilisfa és az érettségi határa 15 év, míg japánakácnál 18 év. Ezek az értékek nem szélsőségesek a különböző fafajok ismert értékeit tekintve. A juharlevelű platán kezdeti és végső rosthosszúsági értékei 1 és 2 mm közöttiek, közel másfélszer nagyobbak, mint a japánakácé.

**Kulcsszavak:** juharlevelű platán, japánakác, rosthosszúság, juvenilisfa

## DETERMINING THE JUVENILE AGE OF DIFFERENT WOOD SPECIES USING A MATHEMATICAL MODEL

### Abstract

The boundary of the juvenile wood around the pith during growth of the tree is as important for the laboratory study of many properties of wood as it is for the use of wood. In addition to demonstrating the adequacy of the mathematical model used, the study fills a gap in the knowledge of the fibre length values of two wood species. The saturation function fitted to the fibre length values of the London planetree (*Platanus × hybrida* Brot.) and Japanese pagoda tree (*Styphnolobium japonicum* (L.) Schott) species included in the study models the annual increase of the fibre length well and allows the juvenile age limit to be determined. The adequacy of the fit of the function is confirmed by high coefficients of determination for both species. For London planetree, the limit between juvenile and mature wood is 15 years, while for Japanese pagoda tree it is 18 years. These values are not extreme taking into account the same data of several other tree species. The initial and final fibre lengths of London planetree are between 1 and 2 mm, almost one and a half times greater than those of Japanese pagoda tree.

**Keywords:** London planetree, Japanese pagoda tree, fiber length, juvenile wood

Levelező szerző/Correspondence:

Báder Máttyás; Soproni Egyetem; 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky út 4; e-mail: [bader.matyas@uni-sopron.hu](mailto:bader.matyas@uni-sopron.hu)



## BEVEZETÉS

A faanyag különböző fizikai-mechanikai tulajdonságai viszonylag tág határok közt mozognak, amelyek a főbb farészek viszonyában is megfigyelhetők. A fatesten belül a szijács és a geszt fami-nőségi tulajdonságai közt egyértelmű a különbség, de a gesztet további részekre lehet még bontani. Az idősebb fák gesztrészében megkülönböztetünk egy bél körüli fatest-részt, az ún. juvenilisfát, valamint a bél-től távolabbi részt, az érettfát. A juvenilis faanyagot általában a felhasználás során eltávolítják az alapanyagból az érett gesztől jelentősen eltérő anyagjellemzői miatt. A juvenilisfa kifejezés nem a fa korára, hanem a bél körül kialakuló fiatal évgyűrűkre utal. Ennek értelmében a növekedés folyamán a törzs felső részén mindig képződik juvenilisfa. Fiatalabb korban a törzsek nagyobb százalékban tartalmaznak juvenilisfát, mint idősebb korban.

Az érettfá és a juvenilisfa egyes tulajdonságainak változékonyságáról több irodalmat is találhatunk (Megraw 1985, Koch 1985, Bendtsen 1978, 1986, Zobel & Bujitenen 1989). A juvenilis rész kialakulására többféle megközelítés létezik. Gartner (1996) a két farész határát a fotoszintetizáló és nem fotoszintetizáló kéreg közötti átmenethez kapcsolja. Yang et al. (1994) a kambium kezdeti működésével hozza összefüggésbe a juvenilis faanyag eltérő tulajdonságait, míg mások a bél-től való távolságot tartják elsődleges befolyásoló tényezőnek (Chalk 1959, Dodd & Fox 1991, Kucera 1994).

A juvenilis kor meghatározását – az érettfához viszonyított eltérő tulajdonságai miatt – fizikai, mechanikai, kémiai és anatómiai vizsgálatokkal lehet elvégezni (Latorracai et al. 2011). Lombosok esetében a libriform rostok, míg fenyőknél a tracheidák hosszúságának változása lehet mérvadó, de sűrűségi, vagy keménységbeli különbségek is adódhatnak. A rosthosszúság a fa korának előrehaladtával évgyűrűről évgyűrűre, folyamatosan növekszik. Kezdetben intenzívebb a változás, majd a juvenilis kor végéhez közeledve ez a növekedés lelassul.

Az élettani folyamatok matematikai modellek segítségével történő leírása a különböző tudomány-területek számtalan témakörében fontos a vizsgált jelenségek megértése, elemzése és az ezekből levonható következtetések szempontjából. A különböző természeti folyamatok vizsgálata során kapott adatok grafikus ábrázolása mellett fontos feladat tehát, hogy – amennyiben lehetséges – meghatározzuk azt a függvényt, ami alkalmas a változás kifejezésére és értelmezésére (Csanády 2013). Azoknál a folyamatoknál, amelyeknél a növekedés korlátos, a telítődési, a logisztikus és az életgörbe trendfüggvények alkalmazhatóak (Kehl & Sipos 2011). A telítődési függvényeket általában három részre lehet bontani. Van egy kezdeti növekedési szakasz, amit a növekedés meredeksége, majd a telítődési érték követ (Pödör 2014). A dinamikus vagy ún. növekedési függvények elnyújtott S alakúak, amelyek alapján a lassú kezdeti növekedés felgyorsul, majd az inflexiós pontot követően lelassul. A telítődési szinthez közeledve a növekedési folyamat megáll és azonos értéken marad (Kupai 2007). A logisztikus függvény egy determinisztikus alapfüggvény, ami jellemzően természetes, felső korláttal rendelkező telítődési folyamatokat ír le időben hosszú távú lefutás alapján. Olyan növekedést mutat be, aminek üteme egyenesen arányos az alsó szinttől és a felső szinttől való távolsággal. A függvény itt is egy elnyújtott S alakú görbéhez hasonlít (Hunyadi 2004). Az életgörbe trendfüggvény két inflexiós ponttal rendelkezik. Javarészt a termékéletgörbék alakulásának modellezésére szolgálnak, ahol a folyamat első, emelkedő szakasza egy S-alakú görbét követ, mely után hanyatlás tapasztalható (Kehl & Sipos 2011), emiatt kevésbé alkalmas céljainkhoz. A rosthosszúság ugyanis a fa első évétől kezdve évről évre növekszik, amíg eléri a maximumát és onnantól konstans értéket mutat. Természetesen a körülmények befolyásolják valamelyest minden vegetációs időszakban, de a trend állandó marad.

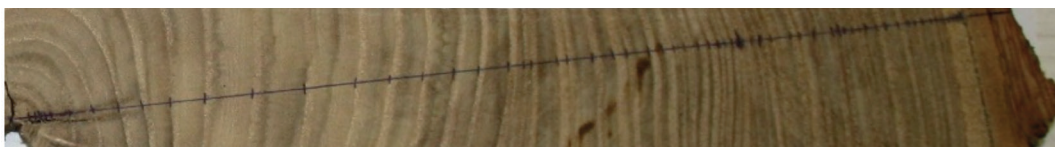
A juvenilisfa mértékének pontos ismerete nélkülözhetetlen a faanyag különböző ipari felhasználása szempontjából az érettfához viszonyított eltérő tulajdonságai miatt. Jelen kutatásunkban a rostösszettség alapján határoztuk meg a juvenilisfa és az érettfá határát idős egyedeken, a mérési eredmények matematikai függvényelemzésével.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

Avizsgálatokba egy-egy juharlevelű platán (*Platanus × hybrida* Brot.) és japánakác (*Styphnolobium japonicum* (L.) Schott) fának a törzsét vontuk be, mivel ezek elég idősök voltak ahhoz, hogy a rostok hosszúságának méretváltozását azok állandóságáig nyomon követhessük. A mellmagassági törzszakaszból kivágott 3 cm vastag korongot a sugara mentén (1. és 2. ábra) évgűrűnként daraboltuk, majd ezeket rostjaira bontottuk. A rostosítás során az évgűrűnként külön kémcsőbe helyezett gyufaszál vastagságú mintákra 30 m/m% töménységű vizes hidrogén-peroxid oldatot töltöttünk ( $H_2O_2$ ) és ezt addig főztük, amíg azok meg nem lágyultak annyira, hogy könnyen szétnyomhatók legyenek. A hidrogén-peroxidot leöntve a mintákat desztillált vízbe áztattuk és mechanikusan rostjaira bontottuk. A mikroszkópos vizsgálathoz előkészített minták rostösszettségét Image-Pro Plus (Media Cybernetics Inc, Rockville, MD, USA) képelemző szoftver segítségével mértük. Évgűrűnként 30 db rostösszettség mérés történt, amelyeket átlagoltunk.



1. ábra: Juharlevelű platán törzsdarab rostösszettség elemzéshez a bétől a kéregig  
Figure 1: Trunk fragment of a London planetree for fibre length analysis from the pith to the bark



2. ábra: Japánakác törzsdarab rostösszettség elemzéshez a bétől a kéregig  
Figure 2: Trunk fragment of a Japanese pagoda tree for fibre length analysis from the pith to the bark

A korábban bemutatott, céljainkhoz alkalmas függvényfajta közül a telítődési függvényt választottuk az adatainkkal való legjobb korreláció miatt. Az évgűrűnkénti átlagos rostösszettségi értékekre a függvény ( $y$ ) illesztése a Statistica 13 (Del Inc, Round Rock, TX, USA) program segítségével történt az (1) egyenlet alapján. Az alkalmazott változók közül a telítettségi szintet,  $b$  helyzetparamétert,  $t$  növekedési sebességet jellemző paraméter, míg  $x$  jelöli az évgűrű sorszámát.

$$y = \frac{a}{1 + b \cdot e^{(t \cdot x)}} \quad (1)$$

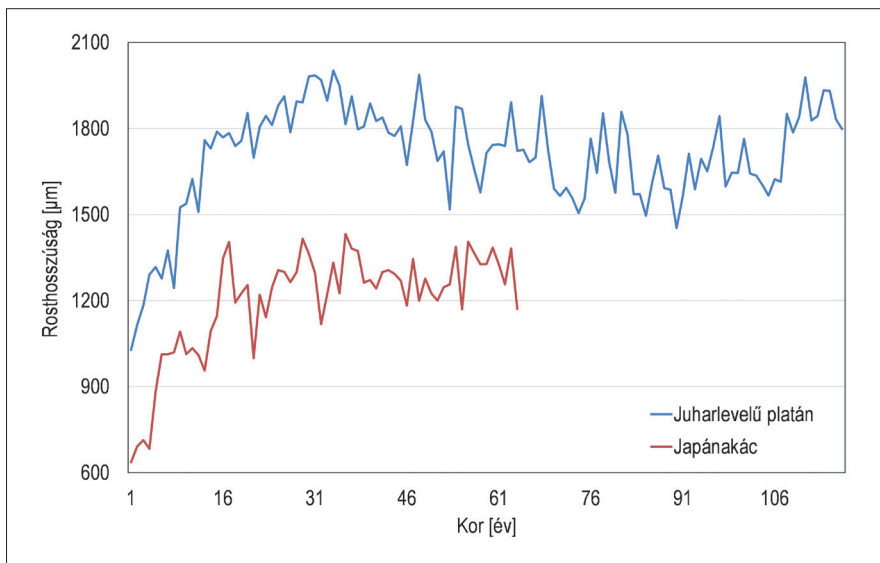
A továbbiakban az (1) egyenlet alapján fafajonként meghatározott elméleti függvényt használtuk a juvenilis kor meghatározásához. Az egymást követő évgűrűk rostösszettségi értékeit százalékosan kifejezve azt a határt kerestük, ahol az értékek állandósulása megállapítható. Shiokura



(1982) alapján azt a pontot vettük a juvenilis és az érettségi határának, ahol a libriform rostok hosszának éves növekedési üteme 1% alá esett.

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Az akác és a platán esetében is megfigyelhető, hogy a kor előrehaladtával a rosthosszúság fokozatosan növekszik (3. ábra). A kezdeti meredekebb szakasz után az értékek állandósulnak. Platán esetében a rosthosszúság értéke 1000-2000  $\mu\text{m}$ , míg akác esetében 640  $\mu\text{m}$  és 1430  $\mu\text{m}$  között változik. Ezen két fajánál rosthosszúságra vonatkozó adatok sem a hazai, sem a külföldi publikációkban nem voltak megtalálhatóak. Figyelemre méltóak a platán már kezdetben is viszonylag magas értékei.



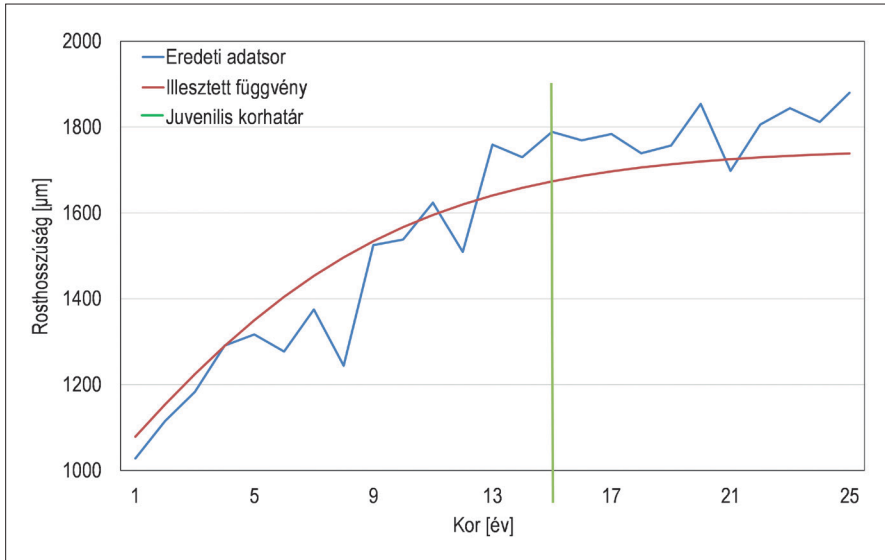
3. ábra: Japánakác és juharlevelű platán rosthosszúsága  
Figure 3: Fibre length of Japanese pagoda tree and London planetree

Természetesen a juvenilisfa és az érettségi határát nem lehet egy pontos évben meghatározni, hiszen a rosthosszúsági értékek is jelentős szórásúak. Az viszont megállapítható, hogy mely kor környékén van ez a határ. A függvényelemzés alapján a rosthosszúság növekedési ütemének jelentős lassulása a juharlevelű platán esetében a 15. év környékére tehető (4. ábra).

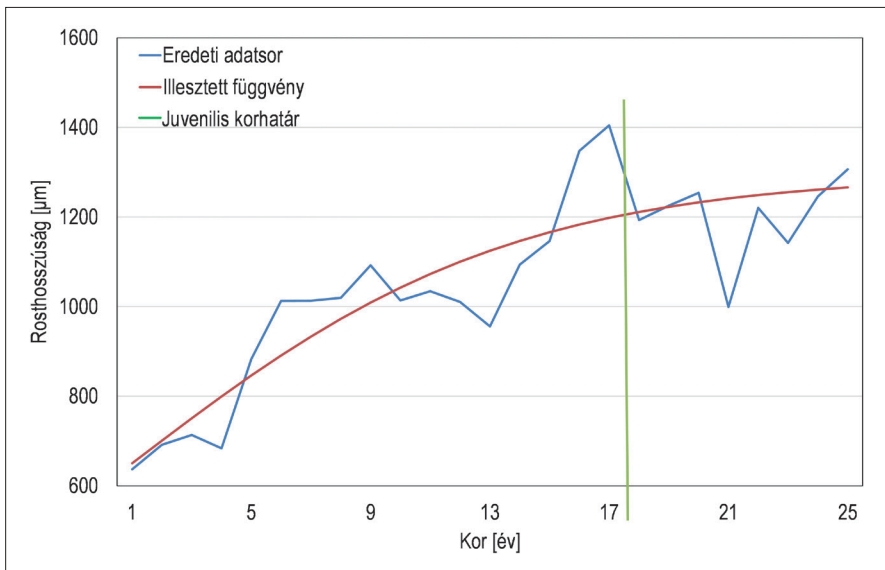
A mérési eredményekre illesztett telítődési görbének az első 20 évre vonatkozó determinációs együtthatójának ( $R^2$ ) értéke 0,93, ami alapján a folyamatot leíró függvény az adatsorunkra kiválóan illeszkedőnek mondható. A determinációs együttható értéke a rosthosszúság állandósulása után fokozatosan csökken, amit a faanyag inhomogén jellegéből adódó jelentős szórás magyaráz.

A japánakác átlagos rosthosszúsági értékeire illesztett függvény alapján annak juvenilis kora a 18. év környékére tehető (5. ábra). Az első 20 évre vonatkozó determinációs együttható ( $R^2$ ) 0,83. Azonban a determinációs együttható a platánnal ellentétben a teljes növekedési szakaszon közel azonosnak mutatkozik, értéke alapján a függvény az adatsorra jól illeszkedik.





4. ábra: Juharlevelű platán rosthossúság növekedésének kezdeti, intenzív szakasza  
 Figure 4: The initial period with intensive increase in the fibre length of the London planetree



5. ábra: Japánakác rosthossúság növekedésének kezdeti, intenzív szakasza  
 Figure 5: The initial period with intensive increase in the fibre length of the Japanese pagoda tree

A kezdeti rosthosszúságtól a megállapított juvenilis korig a japánakác esetében kb. 570 µm-es, míg a juharlevelű platánál kb. 670 µm-es növekedés tapasztalható. Az illesztett függvények alapján a telítődési szint, vagyis a rosthosszúság állandósulása a platánál 1751 µm-nél, akácnál pedig 1295 µm-nél következik be.



Összességében a fajok juvenilis kora igen tág határok között mozog, amit pl. a klimatikus viszonyok, a termőhelyi adottságok, az állományban elfoglalt hely is befolyásolhatnak. Az 1. táblázat alapján a tanulmányunkban vizsgált juharlevelű platán és a japánakác egyike sem rendelkezik szélsőséges juvenilis korhatárral (rendre 15 és 18 év).

1. táblázat: Korábbi kutatások során különböző fajokra megállapított juvenilis korhatárok  
Table 1: Juvenile age limits for different tree species determined in previous researches

Faj	Juvenilis kor határa (év)
Fehér akác (Molnár 1999)	~10
Lucfenyő (Paukó 2003)	10–12
Erdeifenyő (Paukó 2003)	15–17
Nemesnyárok (Demjén et al. 2020)	16–17
Nemesnyárok (Komán 2012)	20–22
Csertölgy (Gencsi 1976)	20–25

## ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban a juharlevelű platán (*Platanus × hybrida* Brot.) és a japánakác (*Styphnolobium japonicum* (L.) Schott) rosthosszúsági értékeivel, valamint a rosthosszúság megfelelő matematikai modellezésével foglalkoztunk. A két vizsgált faj rosthosszúságai egymástól jól elkülönülő tartományokban találhatók. Míg a platánnál 1000-2000  $\mu\text{m}$ , addig az akác esetében 640-1430  $\mu\text{m}$  között változik a rostok hosszúsága. A juharlevelű platán már a növekedés kezdetén mintegy másfélszer akkora rosthosszúsági értékkel rendelkezik, mint a japánakác. Ez a különbség kissé mérséklődve, de a rosthossz állandósulása után is megmarad. Figyelemre méltó a platán esetében, hogy az első évgyűrűkben is 1 mm feletti a rostok hosszúsága.

A vizsgálati eredményekre illesztett telítődési függvény a növekedés kezdeti, intenzív szakaszában jól leírja a folyamatot. Az első 20 évben a determinációs együttható ( $R^2$ ) a juharlevelű platánnál 0,93, míg a japánakácnál 0,83. Ez az érték az akác esetében a teljes növekedés alatt megmarad, míg a platán esetében kissé visszaesik. A magas determinációs együttható értéke alapján a rosthosszúság növekedési majd állandósulási folyamatát leíró telítődési függvény megfelelő ezen élettani folyamat modellezésére. Az illesztett függvény segítségével a rosthosszúság növekedési ütemének mérséklődése alapján a vizsgált faegyedeknél a juvenilis kor határa juharlevelű platán esetében 15, míg japánakácnál 18 év.

## 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.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bendtsen B. A. 1978: Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Products Journal* 28(10): 61–72.
- Chalk L. 1959: The development of pulp and particle board industries and their effect on forest management (b) The “juvenile” period. *Discussions Lyndhurst Sandwell Rep.*, 29–30.
- Csanády V. 2013: Erdészeti adathalmazok elemzése új függvénnyel. *Erdészettudományi közlemények* 3(1): 137–145.
- Demjén A., Komán S., Németh R., Schantl I., Benke A., Borovics A., Cseke K., Kőbölküti Z. A. & Báder M. 2020: Nyárfa klónok juvenilis faanyagának meghatározása rosthosszúság alapján. In: Csiha I. & Csiha S. (eds.): *Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Napja: Tudományos Eredmények a gyakorlatban*. Alföldi Erdőkért Egyesület, 28–33.
- Dodd R. S. & Fox P. 1990: Kinetics of tracheid differentiation in Douglas-fir. *Annals of Botany* 65: 649–657. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087983>
- Gartner B. L. 1996: Does photosynthetic bark have a role in the production of cores vs. outer wood? *Wood and Fiber Science* 28:51–61.
- Gençsi L. 1976: A cseretölgy anatómiai jellemzőinek változása a beltől a kéregig haladó irányban. *EFE Tudományos Közleményei* 1976(1): 101–113.
- Hunyadi L. 2004: A logisztikus függvény és a logisztikus eloszlás. *Statistikai Szemle* 82(10–11): 991–1011.
- Kehl D. & Sipos B. 2009: A telítődési, a logisztikus és az életgörbe alakú trendfüggvények becslése Excel parancsfájll segítségével. *Statistikai Szemle* 87(4): 381–411.
- Koch P. 1985: Utilization of hardwoods growing on southern pine sites. *Agr. Hand. No. 605. I The raw material, II Processing, III Products and Prospective*. US For. Serv., Washington DC, 3710 pp.
- Komán Sz. 2012: Nemesnyár-fajták korszerű ipari és energetikai hasznosítását befolyásoló faanatómiai és fizikai jellemzők. Doktori (PhD.) értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola.
- Kucera B. 1994: A hypothesis relating current annual height increment to juvenile wood formation in Norway spruce. *Wood and Fiber Science* 26: 152–167.
- Kupai T. 2007: Eltérő típusú juhok növekedésének modellezése az alkalmazásával. Doktori (PhD.) értekezés. Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar.
- Latorraca João V.F., Dünisch O. & Koch G. 2011: Chemical composition and natural durability of juvenile and mature heartwood of *Robinia pseudoacacia* L. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 83(3): 1059–1068. <https://doi.org/10.1590/s0001-37652011005000016>
- Megraw R. A. 1985: *Wood quality factors in loblolly pine*. Tappi Press Atlanta, Georgia, 89 pp.
- Molnár S. 1999: *Faanyagismeret*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
- Paukó A. 2003: Lucfenyő és erdeifenyő ültetvények faanyagminőségének összehasonlító vizsgálata. Doktori (PhD.) értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola.
- Pödör Z. 2014: Idősorok elemzési lehetőségeinek kiterjesztése és alkalmazhatósága erdészeti, faipari döntéshozatalban. Doktori (PhD.) értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola.
- Shiokura T. 1982: Extent and differentiation of the juvenile wood zone in coniferous tree trunk. *Japan Wood Research Society* 28: 85–90.
- Yang K-C. 1994: Impact of spacing on width and basal area of juvenile and mature wood in *Picea mariana* and *Picea glauca*. *Wood and Fiber Science* 26(4): 479–488.
- Zobel B. J. & Buijtenen J. P. 1989: *Wood variation. Its causes and control*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Érkezett: 2022. október 26.

Közlésre elfogadva: 2023. március 23.



### Baktériumos megbetegedés tölgyeken

Brit kutatók a 2000-es évek kezdetén vezették be az AOD (Acut Oak Decline) fogalmát a tölgyek viszonylag gyors (3–5 év) lefolyású elhalására vonatkozóan. Az akut tölgypusztulás elsődleges okát baktériumos fertőzésben jelölték meg. Az elmúlt években, hazánkban is felfigyeltünk a tölgyek bakteriális eredetű, kéregfolyásos tüneteire. A mintavételezések és laboratóriumi vizsgálatok igazolták a baktériumos fertőzések tényét. A baktériumok által kiváltott tünetek jellegzetesek, viszonylag könnyen azonosíthatók. A folyások rendszerint kéregrepedésekből indulnak, amelyek a törzsön bárhol megjelenhetnek (baloldali kép). Kezdetben a kifolyó nedv enyhén habos, világosabb színű, majd később sötétbarna, fekete lesz, és feltűnően elszínezi a kérget (középső kép). Akut tünetek esetén a kéreg felfoszlik, erőteljesebben felrepedezik, és később a vékonyabb törzseken rákos burjánzás, deformációk alakulhatnak ki (jobboldali kép). Sok esetben xilofág rovarok is megjelennek a fertőzött kéregrészekben, illetve a szíjácsban.

Fotó és szöveg: Koltay András (SOE ERTI)

# AZ ACERIA FRAXINIFLORA (FELT) (ACARI: ERIOPHYOIDEA) GYORS TERJESZKEDÉSE ÉS JELENLEG ISMERT ELŐFORDULÁSAI MAGYARORSZÁGON

Korda Márton<sup>1</sup>, Ripka Géza<sup>2</sup>, Hirka Anikó<sup>3</sup> és Csóka György<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet, 9400 Sopron

<sup>2</sup>NÉBIH Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság, 1118 Budapest

<sup>3</sup>Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Erdővédelmi Osztály, 3232 Mátrafüred

## Kivonat

A mikroszkopikus méretű gubacsatkák lágyszárú és fás szárú növények hajtásán, levelén, virágán és termésén élősködnek. Tápnövényeik nagyobb része a fás szárúak közül kerül ki. A közelmúltban amerikai kőrísen (*Fraxinus pennsylvanica*) megtalált *Aceria fraxiniflora* gubacsatka faj gyors terjedése szembetűnővé vált hazánkban. A jelenleg vizsgálata során összesen tizenhét megyében, a főváros öt budai és kilenc pesti kerületében sikerült bizonyítani a faj jelenlétét. A felmérés során a faj gubacsai – Európában először – előkerültek a fehér kőrísről (*F. americana*) is. Az atkák szívogatásával érintett fákon a virágok, illetve termések gubacsosodásának mértéke potenciálisan felveti az inváziós amerikai kőrís spontán terjedésének visszaesését is.

**Kulcsszavak:** gubacsatka, amerikai kőrís, inváziós faj, özönnövény, passzív terjeszkedés

## RAPID SPREAD AND PRESENTLY KNOWN DISTRIBUTION OF *ACERIA FRAXINIFLORA* (FELT) (ACARI: ERIOPHYOIDEA) IN HUNGARY

### Abstract

The microscopic eriophyid mites parasitize on the shoots, foliage, flowers and fruits of herbaceous and woody plants. Majority of the host plants is woody species. The authors report the remarkably quick spread of *Aceria fraxiniflora* on green ash (*Fraxinus pennsylvanica*). The galls induced by the species have been found at many locations in the capital and 17 counties out of 19. During the surveys the gall mite – first time in Europe – was recorded on white ash (*F. americana*). The abundance of galls on flowers and fruits may suggest a potential regulation effect on the spontaneous spread of green ash.

**Keywords:** eriophyid mite, green ash, invasive alien species, passive spread



## BEVEZETÉS

A négy lábú atkák (Acari: Eriophyoidea) a növényeken élő legkisebb ízeltlábúak. A gazdanövény föld feletti részén a növény nedveivel táplálkoznak. A hazai faunából jelenleg 397 fajuk ismert (Ripka 2007, 2010, Ripka et al. 2020b). A legnagyobb számban képviselt *Aceria* genusz 125 fajából 55 faj fás szárú növényen él. A hazai erdők fa- és cserjefajairól eddig ismert 238 gubacsatka fajból 45 idegenhonos (Ripka 2020).

Az őshonos kőriseken (*Fraxinus* spp.) leggyakrabban a virágzat- és termés-gubacsot előidéző *Aceria fraxinivora* (Nalepa) és a levél deformációt okozó *Tegolophus califraxini* (Keifer) fajok szembe-tűnő tüneteivel találkozhatunk. A hazai kőrifajokon élő gubacsatkák közül az *A. fraxinivora* az egyik legelterjedtebb (Farkas 1966). Különösen a lombfakadás előtt virágzó magas kőrisen (*Fraxinus excelsior* L.) gyakori, de a szintén lombosodás előtt nyíló magyar (*Fraxinus angustifolia* Vahl subsp. *danubialis* Pouzar), valamint a virágos kőrisen (*Fraxinus ornus* L.) is előfordul. Szívogatásának hatására szövetburjánzás következik be, az egyes virágok és termések torzulnak, kezdetben zöldek majd megbarnuló és megkeményedő, végül megfeketedő, a fán sokáig megmaradó, karfiolszerű gubacsok alakulnak ki (1–2. ábra). Az *A. fraxinivora* a virágos kőris csemeték és a kifejtett egyedek hajtásain és levelén is hasonló torzulást okoz. Magas- és magyar kőrisen az *Aculus fraxini* (Nalepa) egyedei szintén tömegesen élnek a levélgerinc árkában, valamint a levél fonákán a főéren és annak közvetlen közelében. Az előbb említett három kőrifaj levélfonákán szabadon élő *Tegonotus collaris* Nalepa hazánkban nem ritka faj (Ripka 2007).



1–2. ábra: Az őshonos kőriseinken élő szintén őshonos *Aceria fraxinivora* gubacsai (©Csóka György)

Figure 1–2: Galls of the native *Aceria fraxinivora* developing on native ashes (©György Csóka)

Az amerikai kőris (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall) Észak-Amerikából származik, hazánkban az első ismert adata 1798-ból való. Spontán terjedése az 1920-as években már biztosan zajlott (Korda 2019). Magyarországon két változata fordul elő: az északi vörös kőris (*F. pennsylvanica* var. *austini* Fernald) és a zöld kőris (var. *subintegerrima* (Vahl) Fernald) (Csiszár & Bartha 2004). A két-laki amerikai kőris magyarországi előfordulásának súlypontja – az egykori alkalmazási területeinek



megfelelően – a folyóölgyekre, a lapterületekre és a szikésekre koncentrálódik. Az egykor kiterjedt erdészeti, erdőn kívüli (pl. szikések és ipari területek fásítása, erdősávok kialakítása) és kertészeti célú (pl. utcai sorfa, parkfa) alkalmazása mára gyakorlatilag megszűnt, de tömeges jelenléte és intenzív spontán terjedése súlyos természetvédelmi problémákhoz vezetett. Az érintett területek között kiemelkedő jelentőségű az ártereken tapasztalható károkozása. Magyarország védett területein a jelenleg legnagyobb kárt okozó tíz inváziós növényfaj egyike (Kézdy et al. 2018). A Magyarországra behozott amerikai kőrison nagyon kevés kártevő ízeltlábú faj ismert. Egy a múlt század utolsó évtizedében, városi élőhelyeken végzett pajzstetű (Hemiptera: Coccoidea) felmérés során amerikai kőrison mindössze két faj: a *Parthenolecanium corni* (Bouché) és a *Pseudaulacaspis pentagona* (Targioni-Tozzetti) fordult elő (Ripka et al. 1996). Jelen század elején Európából elsőként hazánkba költöztek amerikai kőrison a *Prociphilus fraxinifolii* (Riley) (Hemiptera: Aphididae) gubacstetű faj előfordulását (Remaudière & Ripka 2003, Ripka 2005).

A felmérés során a vizsgált atka gubacsai az amerikai kőrís mellett a fehér kőrísről (*Fraxinus americana* L.) is előkerültek. Az ugyancsak Észak-Amerikából származó faj Európában jóval ritkább, hazánkban elsősorban arborétumokban, gyűjteményes kertekben fordul elő.



3–6. ábra: Az idegenhonos *Aceria fraxiniflora* gubacsai a szintén idegenhonos amerikai kőrís termésein és levelein  
(©Korda Márton)

Figure 3–6: Galls of the non-native *Aceria fraxiniflora* on fruits and leaves of the also non-native green ash  
(©Márton Korda)

Közelmúltban az amerikai kőrís gubacsos terméséről Európában elsőként Magyarországról (Békés megye) írták le az *Aceria fraxiniflora* (Felt) gubacsatka fajt (Acari: Eriophyoidea) (Korda et al. 2019). Ez az *A. fraxiniflora*-hoz hasonló szövetburjánzást, virág- és termés deformációt okoz, de a tápnövények egyértelműen elkülönítik a két atkafajt. Az *A. fraxiniflora* nemcsak a virágzaton és a termésen szívogat, hanem a hajtáson, a levél nyelén és a levélkéken is hasonló megjelenésű gubacsokat idéz elő (3–6. ábra). A fertőzött nőivarú fák alatt kikelő, növekedő magoncok és csemeték csúcsrügyéből fejlődő hajtásokat és leveleket is károsítja. Egy másik gubacsatka faj, az *Aculus epiphyllus* (Nalepa) az amerikai kőrís leveleinek fonákán, az erek közelében él (Ripka et al. 2020a).



Az első hazai észlelés óta eltelt mintegy öt évben az országban egyre gyakrabban és egyre több helyen észleltük az *Aceria fraxiniflora* szembetűnő fertőzését amerikai kőris egyedeken.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A faj terjeszkedésének és jelenlegi elterjedésének vizsgálatára több megyében és a főváros területén célirányos felméréseket végeztünk az amerikai kőris mindkét változatának (*F. pennsylvanica* var. *austini* és var. *subintegerrima*) nőivarú, termős egyedein az *A. fraxiniflora* okozta gubacsok előfordulásáról. Az egyes észlelések helyszínén a jelenlét tényét rögzítettük. A gubacsok határozását a Korda et al. (2019) által közölt morfológiai jellemzés szerint végeztük. Az adatszolgáltatók és az alább használt rövidítések a következők: BD (Bartha Dénes) CsGy (Csóka György), HA (Hirka Anikó), HGy (Haszonits Győző), KÉ (Korda Éva), KM (Korda Márton), PM (Paulin Márton), RG (Ripka Géza) és UA (Uhljar Attila).

## EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Összesen tizenhét magyarországi megyében, a főváros öt budai és kilenc pesti kerületében tudtuk bizonyítani a faj jelenlétét. A gubacsok előfordulását az amerikai kőris mindkét változatáról (*F. pennsylvanica* var. *austini*, var. *subintegerrima*), és a Szarvasi Arborétumból fehér kőrisről (*F. americana*) is sikerült kimutatni. Az utóbbi tápnövény fajra vonatkozóan ez az első adat Európából. Az eddig igazolt előfordulási helyeket az alábbiakban listázzuk, illetve a 7. ábrán látható térképen is bemutatjuk.

**Budapest:** *II. ker.:* Pasaréti út (2022.07.27, 08.23) – RG; Csalán utca (2022.08.18) – RG; *III. ker.:* Pacsirtamező utca (2022.09.17) – RG; *IV. ker.:* Váci út (2022.10.08) – RG; *IX. ker.:* Soroksári út (2022.09.10) – RG; *X. ker.:* Kozma utca (2022.10.04) – RG; *XI. ker.:* Rahó utca (2022.07.27) – RG; Gazdagréti út (2022.07.27) – RG; Muskotály utca–Budaörsi út (2022.07.27) – RG; BME Schönherz kollégium (2022.09.11) – CsGy és HA; *XII. ker.:* Kék Golyó utca (2022.08.30) – RG; *XIV. ker.:* Thököly út (2022.08.30) – RG; *XV. ker.:* Drégelyvár utca (2022.08.30) – RG; *XVII. ker.:* Ferihegyi út (2022.08.30) – RG; *XIX. ker.:* Puskás Ferenc utca, Temető köz (2022.09.10) – RG; *XX. ker.:* Lajtha László utca (2022.08.23) – RG; *XXI. ker.:* Posztógyár utca, Posztógyár köz (2022.10.03) – RG; *XXII. ker.:* Szabadkai utca (2022.08.13) – KM és KÉ; Nagytétény, Duna-part (2022.08.14) – KM és KÉ.

**Baranya megye:** Ócsárd: (2022.09.30) – CsGy és HA; Újpetre: (2022.09.30) – CsGy és HA.

**Bács-Kiskun megye:** Jászszentlászló: Jászszentlászlótól DK-re (2022.09.16) – CsGy és HA; *Tataháza:* Tataházáztól Ny-ra az 55-ös út mentén (2022.09.16) – CsGy és HA.

**Békés megye:** Békéscsaba: Kazinczy utca (2022.08.16) – CsGy és HA; Békéscsaba és Kondoros között: 44-es út (2022.08.17) – CsGy és HA; Békésszentandrás: Körös-part (2017.07.23) – KM; Csárdaszállás: Körös-part (2022.10.20) – KM és BD; Dévaványa: Túzokvédelmi Állomás környéki erdő (2020.08.10) – KM; Füzesgyarmat: Füzesgyarmat és Biharnagybajom között (2022.09.15) –

CsGy és HA; Gyomaendrőd: Körös-part (2022.08.30) – KM; Orosháza: Nagyszénásra vezető út mellett (2022.10.22) – KM és BD; Sarkad: Sarkadkeresztúri út (2022.08.16) – CsGy és HA; Szarvas: Szarvasi Arborétum (2022.08.17) – CsGy és HA; 44-es út, 86-os km (2022.08.17) – CsGy és HA; 443-as út mentén (2022.08.30) – KM; Szeghalom: Szeghalom és Füzesgyarmat között (2022.08.15) – CsGy és HA; Szeghalom és Vésztő között (2022.08.16) – CsGy és HA.

Csongrád-Csanád megye: Ásotthalom: Gátsor (2022.09.16) – CsGy és HA; Magyarcsanád: Bökény, Maros-part (2022.10.22) – KM és BD; Mórahalom: 55-ös út, körforgalom (2022.09.16) – CsGy és HA; Szeged: 5-ös út (2022.09.16) – CsGy és HA.

Fejér megye: Gánt: Hegyalja út (2019.04.19) – KM.

Győr-Moson-Sopron megye: Babót: 85-ös út (2022.09.12) – KM; Barbacs: 85-ös úti kereszteződés (2022.09.12) – KM; Gönyű: Duna-part (2022.07.01) – KM; Győr: 1-es út és 821-es út kereszteződése (2022.10.09) – KM és KÉ; Nagysándor József utca (2022.10.09) – KM és KÉ; Kimle: 1-es út (2022.09.15) – KM; Lövő: Lövőtől É-ra, a 84-es úton (2022.09.20) – CsGy és HA; Rábaszentmihály: Rába-part (2022.09.12) – KM; Sopron: Ipar körút, Decathlon parkoló (2018.06.20) – KM és KÉ; Lővér Kemping (2022.10.04) – KM; Soproni Egyetem, Botanikus kert (2022.09.21) – KM; Sopron Balf: eperföldek (2019.05) – KM és KÉ; Fertő-parti út (2022.09.13) – KM; Bozi út (2022.09.13) – KM; Balftól ÉK-re elterülő erdőszülő területek (2022.09.13) – KM; Újrónafő: 86-os út (2022.09.15) – KM.

Hajdú-Bihar megye: Hortobágy: Mátá (2022.09.15) – CsGy és HA; Püspökladány: Farkassziget (2022.09.15) – CsGy és HA; Sárrétudvari: Sárrétudvari és Biharnagybajom között (2022.09.15) – CsGy és HA.

Heves megye: Atkár: Atkár és Vámosgyörk között (2022.07.22) – PM; Eger: Felnémet (2022.09.08) – CsGy és HA; Mátrafüred: Hegyalja utca (2022.10.06) – CsGy és HA; Poroszló: 33-as út, 17-es km (2022.08.15) – CsGy és HA.

Jász-Nagykun-Szolnok megye: Jászárokszállás: Jászárokszállástól D-re (2022.07.22) – PM; Kunszentmárton: Körös-part (2022.08.31) – KM; Martfű: Sörgyár (2022.08.17) – CsGy és HA; Mezőhék: Mezőhéktől D-re (2022.08.17) – CsGy és HA; Öcsöd: Körös-part (2022.08.30) – KM; 44-es út (2022.08.30) – KM; Szelevény: Körös-part (2022.10.21) – KM és BD; Szolnok: Zagyva-part (2022.11.22) – HGy; Tiszafüred: T33-as út, Tisza híd (2022.08.15) – CsGy és HA; Vámosgyörk: Vámosgyörk és Jászárokszállás között (2022.07.22) – PM.

Komárom-Esztergom megye: Komárom: Szőny, Duna-part (2022.09.15) – KM.

Nógrád megye: Pusztaszántó: 2-es út, 53–54-es km (2022.10.08) – RG.

Pest megye: Gödöllő: MATE Campus (2022.10.06) – CsGy; Maglód: Liszt Ferenc utca (2022.10.04) – RG; Solymár: Terstyánszky Ödön utca (2022.10.04) – RG; Szigetszentmiklós: Petőfi Sándor utca (2022.10.03) – RG; Vác: 2-es út 32-es km (Shell kút parkolója) (2022.10.08) – RG.

Szabolcs-Szatmár-Bereg megye: Nyíregyháza: Stadion utca (2023.02.18.) – BD

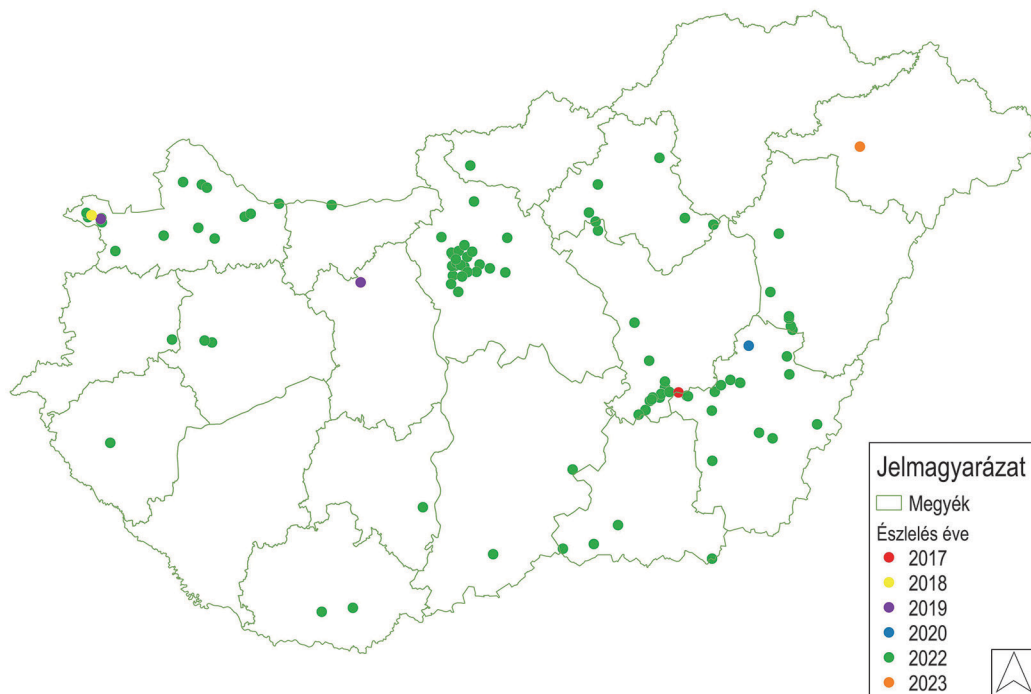
Tolna megye: Bogyiszló: (2022.09.15) – CsGy és HA.

Vas megye: Jánosháza: Berzsényi utca (2022.09.24) – RG.

Veszprém megye: Devecser: (2022.09.13) – CsGy és HA; Somlóvásárhely: 8-as útról Somlóvásárhelyre bevezető út (2022.08.12) – RG.

Zala megye: Gutorföldre: Rádiháza (2022.09.13) – CsGy és HA.

A fenti adatok mindegyike *F. pennsylvanica* tápnövényre vonatkozik. Egyetlen helyszínen, a Szarvasi Arborétumban *F. americana*-n is megtalálták (2022.09.05. – UA).



7. ábra: Az *Aceria fraxiniflora* jelenleg ismert magyarországi elfordulásai, az első észlelések évével  
Figure 7: Presently known distribution of *Aceria fraxiniflora* in Hungary with the year of the records

A fentiek alapján tehát megállapítható, hogy az *A. fraxiniflora* a 2017. évi első észlelése óta viszonylag rövid idő alatt az országban széles körben elterjedt, és az amerikai kőris mindkét változatán (*F. pennsylvanica* var. *austini* és var. *subintegerrima*), továbbá a fehér kőrisen (*F. americana*) is előfordul. A faj által okozott tüneteket megtaláltuk a virágzaton, a terméságazaton, a hajtáson és a levélen egyaránt. Érdeemes megjegyezni azt a tényt, hogy több felvételezési helyen az egymáshoz közel álló – nem egyszer szomszédos – két változat közül az egyikén erős gubacsosodás volt tapasztalható, míg a másik változat fertőzésmentes volt. Ez a jelenség a két változat esetében 'oda-vissza' megfigyelhető volt. Ezért azt feltételezzük, hogy ezek az egyedi különbségek nem a két változat eltérő fogékonyságából, hanem más tényezőkből fakadhatnak. Megjegyzendő, hogy a passzívan terjeszkedő idegenhonos ízeltlábúak (pl. tölgy-csipkéspoloska) esetében – különösen a terjeszkedés korai szakaszában – megfigyelhető, hogy elszórtan, szigetszerű kis – akár egy fányi – gócekban jelennek meg először. Később ezekből kiindulva kolonizálják a szomszédos, illetve távolabbi faegyedeket.

Eddigi tapasztalataink szerint az *Aceria fraxiniflora* a legváltozatosabb hazai élőhelyeken előforduló amerikai kőris egyedeket képes sikerrel kolonizálni. A jobb természetességű ligeterdőkben épp úgy megtalálható, mint a szikésekre telepített állományokban, a közutak menti fásításokban vagy éppen városi parkokban, illetve utcafásításokban.



Mivel az amerikai kőriseket más herbivor ízeltlábúak detektálása céljából korábban is figyeltük, valószínűsítjük, hogy az első feljegyzésnél (2017) sokkal korábban nem volt jelen nálunk a faj az észlelhetőségi határ feletti népességgel. Illetve azt is, hogy egy valóban rendkívül gyors terjeszkedésről van szó, és nem pedig arról, hogy az *A. fraxiniflora* által okozott tünetek korábban elkerülték volna a figyelmet.

Ugyanakkor – elfogadva a gyors terjeszkedés tényét – érdemi magyarázatot nem tudunk arra vonatkozóan adni, hogy annak szokatlan sebessége milyen okokra vezethető vissza. Csupán néhány olyan szempontot említünk, ami – ha csak részben is – magyarázhatja a jelenséget.

A gubacsatkák rendkívül kis méretűek, így passzívan (pl. szél, országúti és vasúti forgalom) minden bizonnyal könnyen jutnak el nagyobb távolságokra is. Az *A. fraxiniflora* tápnövénye, az amerikai kőris az ország nagy részén közönséges, sok helyen tömeges. Az utak mentén sokhelyütt megtalálható hosszú amerikai kőris fasorok kifejezetten kedvezőek lehetnek egy járműforgalommal, passzívan terjedő faj szempontjából.

Az *A. fraxiniflora* megjelenése és expanziója megerősíti, hogy az idegenhonos, tömegesen termesztett/ültetett fafajok általában csak átmenetileg „szökhetnek meg” fogyasztóik elől, azok sok esetben „utolérik” őket (Liebhold 2012, Csóka et al., 2017). Azaz egy-egy idegenhonos növényfaj honosításával és tömeges termesztésével esetenként tulajdonképpen magunk készítjük elő az adott növény szintén idegenhonos fogyasztójának későbbi megtelepedését és terjeszkedését.



8–9. ábra: Erős fertőzés az amerikai kőris termésein (©Csóka György)  
Figure 8–9: Heavy infestation onfruits of the green ash (©György Csóka)

Egyes faegyedeket a gubacsatka tömegesen fertőz (8–9. ábra). Tisztázandó kérdés, hogy ilyen esetekben az atkák befolyásolják-e, ha igen, milyen mértékben a magok csírázókéességét, ezáltal az amerikai kőris spontán felújulását és további terjeszkedését. Bár túlzott elvárásaink aligha lehetnek a hatást illetően, mindenképpen meg kell jegyezni, hogy az inváziós tápnövény specialista fogyasztójaként az *Aceria fraxiniflora* terjeszkedése pozitív megítélés alá eshet.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az adatgyűjtésben nyújtott segítségéért köszönettel tartozunk Bartha Dénesnek (Sopron), Haszonits Győzőnek (Szolnok), Korda Évának (Sopron), Paulin Mártonnak (Mátrafüred) és Uhljar Attilának (Szarvas). Adatgyűjtésünket és jelen közlemény elkészítését az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott TKP2021-NKTA-43 számú projekt támogatta.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Csiszár Á. & Bartha D. 2004: Amerikai kóris (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.). In: Mihály B. & Botta-Dukát Z. (eds.): Biológiai inváziók Magyarországon. Özönnövények. TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, 131–142.
- Csóka Gy., Stone G.N. & Melika G. 2017: Non-native gall-inducing insects on forest trees: a global review. *Biological Invasions* 19: 3161–3181; <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1466-5>
- Liebholt A.M. 2012: Forest pest management in a changing world. *International Journal of Pest Management* 58:2 89–295
- Farkas H. 1966: Gubacsatkák - Eriophyidae. *Fauna Hungariae* 81(18). Akadémiai Kiadó, Budapest
- Kézdý P., Csiszár Á., Korda M. & Bartha D. 2018: Inváziós fajok előfordulása és kezelése Magyarország védett és Natura 2000 területein, európai összehasonlítással. *Természetvédelmi Közlemények* 24: 85–103.
- Korda M. 2019: A Magyarországon inváziós fafajok elterjedésének és elterjesztésének története. Doktori (PhD) értekezés. Soproni Egyetem, Sopron.
- Korda M., Csóka Gy., Szabó Á. & Ripka G. 2019: First occurrence and description of *Aceria fraxiniflora* (Felt, 1906) (Acariformes: Eriophyoidea) from Europe. *Zootaxa* 4568(2): 293–306. <http://doi.org/10.11646/zootaxa.4568.2.5>
- Mally R., Ward S.F., Trombik J., Buszko J., Medzihorsky V. & Liebholt A.M. 2021: Non-native plant drives the spatial dynamics of its herbivores: the case of black locust (*Robinia pseudoacacia*) in Europe. *NeoBiota* 69: 155–175. <https://doi.org/10.3897/neobiota.69.71949>
- Remaudière G. & Ripka G. 2003: Arrivée en Europe (Budapest, Hongrie) du puceron des frenes américains, *Prociphilus (Meliarhizophagus) fraxinifolii* (Hemiptera, Aphididae, Eriosomatinae, Pemphigini). *Revue française d'Entomologie (N.S.)* 25(3): 152.
- Ripka G. 2005: Újabb adatok az inváziós fa- és cserjefajokon élő fitofág ízeltlábú fajok ismeretéhez. *Növényvédelem* 41(2): 93–97.
- Ripka G. 2007: Checklist of the eriophyoid mite fauna of Hungary (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 42(1): 59–142. <https://doi.org/10.1556/aphyt.42.2007.1.7>
- Ripka G. 2010: Jövevény kártevő ízeltlábúak áttekintése Magyarországon (I.). *Növényvédelem* 46(2): 45–58.
- Ripka G. 2020: Erdei fa- és cserjefajok gubacsatkái (Acari: Eriophyoidea). *Erdészettudományi Közlemények* 10(2): 83–95. <https://doi.org/10.17164/EK.2020.007>
- Ripka G., Kiss E., Kontschán J. & Szabó Á. 2020b: A new *Leipothrix* species (Acari: Acariformes: Eriophyoidea) from Hungary on *Zinnia elegans* (Asteraceae). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 55(2): 223–234. <https://doi.org/10.1556/038.55.2020.023>
- Ripka G., Korda M. & Szabó Á. 2020a: First occurrence and re-description of *Aculus epiphyllus* (Nalepa) (Acariformes: Eriophyoidea) from *Fraxinus pennsylvanica* in Europe. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 55(1): 65–78. <https://doi.org/10.1556/038.55.2020.004>
- Ripka G., Reiderné Saly K. & Kozár F. 1996: Újabb adatok a díszfa- és díszcserjefajok pajzstetű- és liszteske- (Homoptera: Coccoidea, Aleyrodoidea) faunájának ismeretéhez a fővárosban és környékén. *Növényvédelem* 32(1): 7–17.

Érkezett: 2022. december 08.

Közlésre elfogadva: 2023. január 22.



# TARTALOMJEGYZÉK

(folytatás a hátsó borítóról)

## 12. évfolyam 2. szám

- 77 *Benke Attila, Köbölkuti Zoltán Attila, Cseke Klára, Borovics Attila és Tóth Endre György*  
**Szárazságtűrésben szerepet játszó SNP-k azonosítása kocsánytalan tölgy populációkban: Alap kutatási eredmények a fenntartható tölgygazdálkodásért**
- 91 *Illés Gábor és Móricz Norbert*  
**Hazai fajok klímaanalóg területeinek vizsgálata a klímaváltozás tükrében**
- 113 *Báder Mátyás és Komán Huba*  
**Különböző fajok juvenilis korhatárának meghatározása matematikai modell segítségével**
- 121 *Korda Márton, Ripka Géza, Hirka Anikó és Csóka György*  
**Az *Aceria fraxiniflora* (felt) (Acari: eriophyoidea) gyors terjedése és jelenleg ismert előfordulásai Magyarországon**

*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

## 12. évfolyam 1. szám

- 5 *Kollár Tamás*  
**Bükk (*Fagus sylvatica*) állományok fatermési függvénye és táblája az ERTI tartamkísérleti hálózatának adatbázisa alapján**
- 31 *Ábri Tamás, Keserű Zsolt és Rédei Károly*  
**A 'Nyírségi' akác (*Robinia pseudoacacia* 'Nyírségi') növekedési viszonyai**
- 43 *Szmolka Péter és Frank Norbert*  
**Szabad víz megjelenése a talajban különböző faállományok alatt a Szent Anna-tó kráterének belső lejtőin**
- 57 *Kocsis Zoltán, Németh Gábor, Börcsök Zoltán, Polgár András, Király Éva, Kóczán Zsófia és Borovics Attila*  
**A faipari folyamatok szénlábnyom-elemzéséhez kapcsolódó logisztikai és energiafelhasználási konverziós faktorok megadása**

*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)

HU ISSN 2062-6711



9 772062 671009

11001