

# A bükk és a bükkösök Magyarországon

Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának  
tanulmánykötete IV.



2024



Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának  
tanulmánykötete IV.

**A bükk és a bükkösök Magyarországon**

Majer Antal (1920–1995) egyetemi tanár,  
a bükkösök jeles kutatója emlékének

Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának  
tanulmánykötete IV.

# A bükk és a bükkösök Magyarországon

Szerkesztette:

BARTHA DÉNES, CSÓKA GYÖRGY és MÁTYÁS CSABA



SOPRONI EGYETEM KIADÓ  
Sopron, 2024

A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya  
Erdészeti Tudományos Bizottságának kezdeményezésére jött létre.



Jelen publikáció a „TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú ErdőLab” projekt keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium) Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Kiadó:  
Soproni Egyetem Kiadó

Felelős kiadó:  
Prof. Dr. Fábíán Attila, a Soproni Egyetem rektora



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



Nevezd meg! - Ne add el! - Így add tovább! 4.0 Nemzetközi  
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

Borítókép: Frank Tamás  
Borítóterv: Gáspár Csaba

ISBN 978-963-334-527-6 (nyomtatott)  
ISBN 978-963-334-528-3 (pdf)

A kötet DOI száma: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-528-3>

Nyomdai kivitelezés:



**INFORM**  
Kiadó & Nyomda  
1149 Budapest, Angol u. 34.  
[www.informstudio.hu](http://www.informstudio.hu)

Budapest, 2024/29

# TARTALOM

|   |     |
|---|-----|
| <b>Előszó</b> .....   | 7   |
| <b>A bükkösök és az ErdőLab-projekt</b> .....                                     | 8   |
| <b>1. A bükk bemutatása</b> .....   | 9   |
| 1.1. A bükk ( <i>Fagus</i> ) nemzetség és fajai rövid ismertetése .....           | 11  |
| 1.2. A közönséges bükk ( <i>Fagus sylvatica</i> ) taxonómiája és biológiája ..... | 25  |
| 1.3. A bükk és a bükkösök ökológiai sajátosságai .....                            | 59  |
| 1.4. A bükk genetikai változatossága, szaporodásbiológiája .....                  | 104 |
| 1.5. A bükk kémiai sajátosságai .....   | 124 |
| <b>2. A bükk a Kárpát-medencében</b> .....  | 141 |
| 2.1. A bükk posztglaciális elterjedéstörténete .....                              | 142 |
| 2.2. A bükk és a bükkösök aktuális elterjedési területe .....                     | 147 |
| 2.3. A bükk hazai előfordulása, erdészeti statisztikai adatai .....               | 151 |
| 2.4. Különleges bükk előfordulások Magyarországon .....                           | 161 |
| <b>3. A bükkös ökoszisztéma és növényközösségei</b> .....                         | 165 |
| 3.1. A bükkösök termőhelyi viszonyai .....  | 166 |
| 3.2. Bükkös erdőtársulások, bükkös élőhelytípusok .....                           | 180 |
| <b>4. A bükk és a bükkösök gombái, gombaközösségei</b> .....                      | 213 |
| 4.1. A bükkösök nagygombáinak funkcionális csoportjai .....                       | 214 |
| 4.2. A bükkösök nagygombái mint indikátorok .....                                 | 223 |
| 4.3. A klímaváltozás hatása a bükkösökre és a fungájukra .....                    | 230 |
| <b>5. A bükkösök állatvilága</b> .....  | 231 |
| 5.1. A bükkösök gerinces állatai .....  | 232 |
| 5.2. A bükk és a bükkösök ízeltlábú faunája .....                                 | 247 |
| 5.3. A bükkösök csigái .....  | 266 |
| <b>6. A bükk helye a hazai erdőgazdálkodásban – régen és most</b> .....           | 269 |
| 6.1. A bükk növekedési tulajdonságai, a bükkösök fatermése .....                  | 270 |
| 6.2. A gazdálkodás hatása a bükkösökre .....                                      | 283 |
| 6.3. A bükkösök erdőművelési módszerei .....                                      | 291 |
| 6.4. Erdőhasználati módszerek és lehetőségek bükkösökben .....                    | 312 |
| 6.5. A bükkgazdálkodás gyakorlati vonatkozásai .....                              | 320 |
| 6.6. A bükkösök ökonómiai értékelése .....  | 333 |
| 6.7. A bükk faanyaga és annak felhasználása .....                                 | 340 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>7. A bükkösök erdővédelmi kérdései</b> .....  | 367 |
| 7.1. Abiotikus kalamitások/bolygatások .....   | 368 |
| 7.2. Biotikus tényezők .....   | 375 |
| 7.3. Közvetlen antropogén károk bükkösökben .....  | 397 |
| <b>8. A bükkösök természetvédelmi és közjóléti szerepe, ökológiai szolgáltatásai</b> ..... | 399 |
| 8.1. A hazai bükkösök természetességi állapota .....                                       | 340 |
| 8.2. Bükkös erdőrezervátumok Magyarországon .....  | 412 |
| 8.3. A hazai bükkösök természetessége és a természetvédelmi oltalom összefüggései .....    | 424 |
| 8.4. Az erdei biodiverzitás-megőrzés gyakorlati lehetőségei kezelt bükkösökben .....       | 434 |
| 8.5. A hazai bükkösök közjóléti, társadalmi és ökológiai szolgáltatási szerepe .....       | 451 |
| 8.6. Kultúrtörténeti vonatkozások .....  | 458 |
| <b>9. Bükkösök a változó klímában</b> .....  | 477 |
| 9.1. Klimatikus változások kihívásai és a bükk .....                                       | 478 |
| 9.2. A bükk fenotípusos és genetikai alkalmazkodása a környezeti feltételekhez .....       | 480 |
| 9.3. A bükk klímaterének és vitalitásának előrevetítése a 21. századra .....               | 487 |
| <b>10. Zárszó</b> .....  | 499 |
| 10.1. Mit tudhatunk? .....   | 500 |
| 10.2. Mit tehetünk? .....  | 501 |
| 10.3. Mit remélhetünk? .....   | 502 |
| <b>A kötet szerzői és lektorai</b> .....   | 505 |

### 9.3. A bükk klímaterének és vitalitásának előrevetítése a 21. századra

Mátyás Csaba

#### A növekedés előrevetítése származási kísérletek alapján

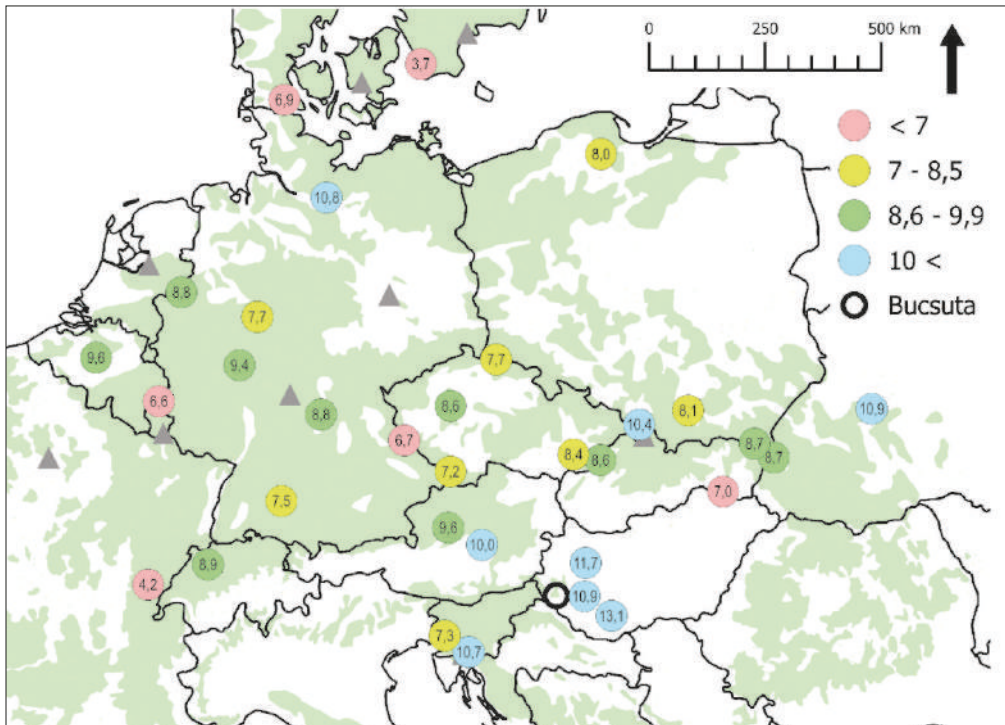
A különböző eredetű populációk összehasonlítása céljából létesült származási (közös tenyészkereti) kísérletek egyedülállóan alkalmasak a klímaterancia tesztelésére. A teszthelyszín és az áttelepített populációk származási helyének klimatikus differenciája ugyanis szimulált klímaváltozásként értelmezhető. A származások ökológiai (azaz áttelepítési) távolsága és növedéke összefüggéséből meghatározható, hogy a klímaváltozás következtében milyen mértékű növedékveszteség várható. A modellezéssel kapott adatokkal szemben ezek a kísérletek lehetőséget adnak a klímaváltozás által előidézett fenotípusos válaszreakció konkrét terepi feltételek közötti meghatározására, vagyis mérhetővé teszik a faj, illetve a populációk alkalmazkodó képességét (Mátyás & Yeatman 1987; Mátyás 1996).

A hamburgi Erdészeti Genetikai Intézet szervezésében 1998-ban 28 bükk származási kísérletet telepítettek Európában (von Wühlisch & Alia 2011), amelyekből egy jutott Magyarországra. A nemzetközi helyszínek összesített eredményeit az 1.4. fejezet »A bükk fiatalkori növekedése nemzetközi származási kísérletekben« alfejezete ismerteti. A magyar kísérlet a Zalaerdő Zrt. területén, Bucsuta község határban, 36 származással létesült, melyből négy populáció hazai eredetű (Mátyás et al. 2009; Horváth & Mátyás 2014). A bükk szempontjából fontos klimatikus paraméterek szerint Bucsuta már a bükk szárazsági határán van ( $EQ$  értéke  $29,4\text{ °C mm}^{-1}$ ; 9.2.-2. táblázat), vagyis szinte valamennyi származás itt szárazabb és melegebb klímába került. Ezzel gyakorlatilag az egyetlen kísérlet Európában, amely alkalmas a klímaváltozás bükkre gyakorolt negatív hatásainak előrejelzésére. A kísérleti hálózat egyetlen helyszíne került egyértelműen a bükk szárazsági határán kívülre, egy Nápoly környéki faiskolába (Potenzába), ahol azonban valamennyi származás elpusztult.

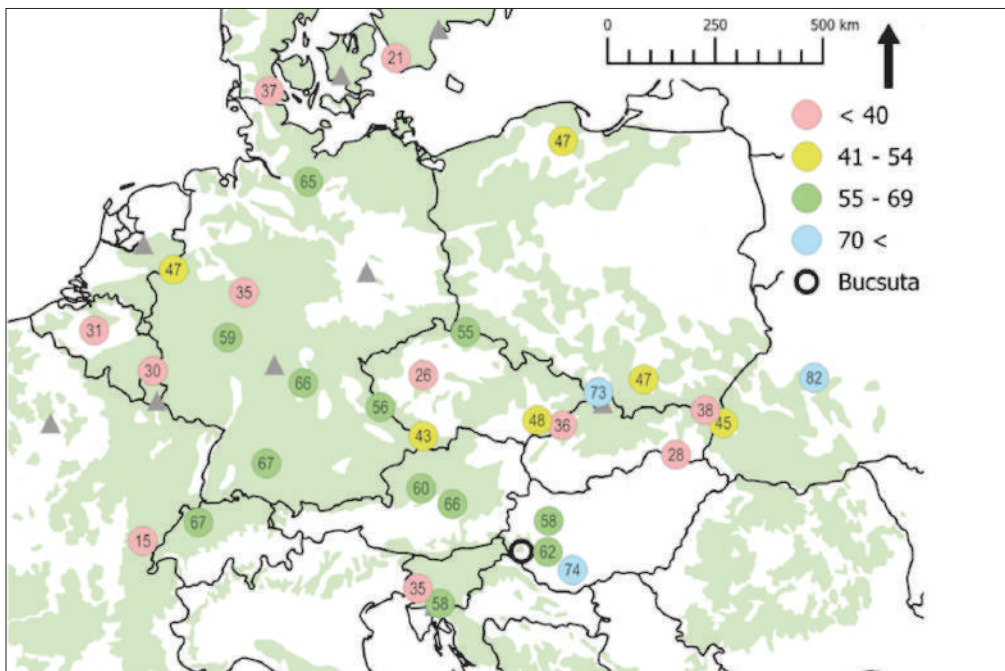
A szélsőséges hazai helyszín a nemzetközi értékeléstől eltérő képet mutat az átmérő-növekedés és a megmaradás adatai tekintetében is (Kóczán-Horváth 2016). A növekedést a továbbiakban a 15 éves kori átmérővel jellemezzük (cm). A kísérletben szereplő área-rész délkeleti, kontinentálisabb részén meglepő élességgel rajzolódik ki a Bucsután legjobb növekedést mutató populációk csoportja, Szlovéniától Magyarországon keresztül Ukrajnáig (9.3.-1. ábra). A legkiemelkedőbb növekedést Magyaregregy (52.;  $D_{1,3}$ : 13,1 cm) mutatta, a külföldiek közül az ukrán/galiciai Pidkamin (59.;  $D_{1,3}$ : 10,9 cm). A származások megnevezése után zárójelben szereplő kódszám alapján a származási helyszínek földrajzi beazonosítása az 1.4. fejezet 1.4.-6 térképes ábráján lehetséges. A legjobb csoporttól elsősorban ÉNy-i irányban található az átlagnál magasabb vitalitást mutató származások. Az área szegélye felé minden irányban, különösen észak felé, szaporodik a gyenge teljesítményűek száma. Kivétel a holsteini Farchau (26.;  $D_{1,3}$ : 10,8 cm) növekedése, amely megközelelti a hazai legjobbakét. A Kárpátok északi peremén tenyésző populációk közül ugyancsak kitűnik a lengyel Jaworze (39.;  $D_{1,3}$ : 10,4 cm), amely azért figyelemre méltó, mert a helyszíntől alig 20 km-re délre, a hegység gerince közelében fekszik Istebna, ahol az európai lucosok legjobb, legproduktívabb populációja található (Ujváriné Jármay et al. 2016).

Nem meglepő módon, az egyidejűleg végzett megmaradás-felvételezés eredménye – néhány kivételtől eltekintve – szorosan korrelál a növekedéssel. A megmaradás százalékos adatai az átmérőnél is egyértelműbben mutatják a hazai kísérletben átlag feletti teljesítményt mutató származások sorát, az osztrák Alpon keresztül Közép-Németországig (9.3.-2. ábra). A legjobb megmaradást itt is Pidkamin (82%), valamint Magyaregregy (74%) és Jaworze (73%) esetében mérték. Az atlanti származások gyenge megmaradása feltűnő, a legrosszabb eredményt a francia Plateau du Jura (6.) mutatta, 15%-kal. A Bucsután tesztelt származások megerősítik, hogy a bükk vitalitásának javítása szempontjából se nyugati, se északi populációk nem játszhatnak szerepet. Sajnos szaporítóanyag hiányában a keleti, kontinentálisabb környezetű származások közül csak az ukrán Pidkamin került a hazai kísérletbe, dél-balkáni egy sem.





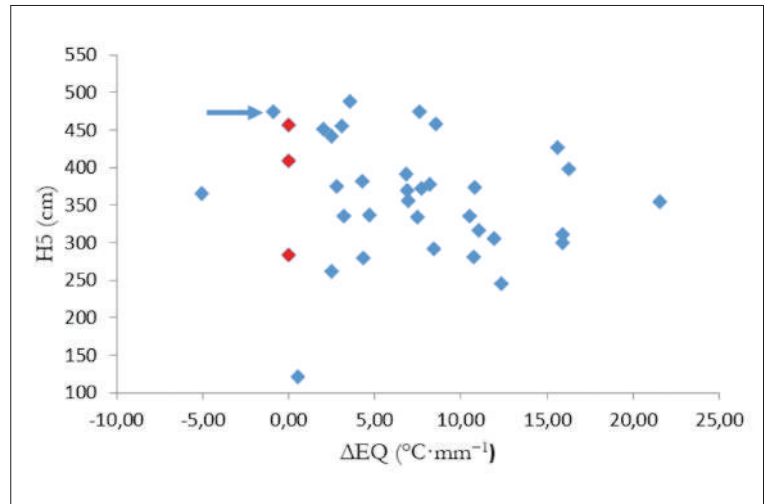
9.3.-1. ábra. Közép-európai származások átlagos átmérője (cm) 15 éves korban, Bucsután.  
 Szürke háromszögek jelzik a Bucsután nem szereplő populációk származási helyét.  
 A szövegben említett származások helyszínei kódszámaikkal az 1.4.-6. ábrán szerepelnek



9.3.-2. ábra. Közép-európai származások megmaradása (%) 15 éves korban, Bucsután.  
 Szürke háromszögek jelzik a Bucsután nem szereplő populációk származási helyét.  
 A szövegben említett származások helyszínei kódszámaikkal az 1.4.-6. ábrán szerepelnek

### A hazai származások teljesítménye

A hazai származások klimatikus elhelyezkedését a zalai kísérlet nemzetközi mezőnyében a 9.3.-3. ábra mutatja. A származások parcellánként öt legmagasabb egyedének átlagmagassága 10 éves korban egyfajta előértékelés a felnőttkori állományt potenciálisan meghatározó egyedek teljesítményéről. Az európai kísérletsorozatban máshol is szereplő Magyaregregy (52.) Bucsután 4,97 m-es magasságával a 36 között a legjobb származás. Érdekesség, hogy magasabb júliusi átlaghőmérséklethez és alacsonyabb csapadékhoz alkalmazkodott származás a zalai helyszínen kissé hűvösebb, csapadékosabb környezetbe került, amit enyhén negatív  $\Delta EQ$  értéke bizonyít. A további három származás csak a hazai kísérletben kapott helyet. Ezek közül a kísérlettel szomszédos Bánokszentgyörgy (H1;



9.3.-3. ábra. A bucstui kísérlet származásainak parcellánként öt legmagasabb egyede adatából számolt átlagmagassága 10 éves korban ( $H5$ ), az ökológiai távolság ( $\Delta EQ$ ) függvényében. A nemzetközi kísérletsorozat részeként szereplő Magyaregregyét nyíl jelzi. A pirossal jelzett származások csak a magyar kísérletben előforduló kontrollok (fentről lefelé: Bánokszentgyörgy, Farkasgyepű és Ördög völgy)

4,57m) helyi származású populációnak számít. Hasonló a bakonyi Farkasgyepű átlagmagassága is ( $H2$ ; 4,10 m), bár villásodásra hajlamos (9.3.-6c. ábra). Viszont nincs magyarázat a zempléni Ördög völgy ( $H3$ .) származás feltűnően gyenge növekedésére (2,84 m). A hazaiak széles szórása figyelmeztet arra, hogy az egyes populációk várható teljesítményét nem egyedül a lokális klímához alkalmazkodás szempontjából kell értékelni. A tágabb értelemben vett két „közeli” származás (Magyaregregy és Bánokszentgyörgy) 10 éves kori teljesítménye mindenesetre megnyugtató. A nemzetközi mezőnyben még az élbolyban van a schleswig-holsteini Farchau (26.; 4,88 m), kiemelkedő törzsalakkal, és az ukrán/galíciai Pidkamin (59.; 4,75 m); az utóbbi  $EQ$  értéke szinte azonos Bucsutával, vagyis szinte „helyi”-nek tekinthető. Magyaregregy egy természetesen felújított és gondosan nevelt állomány utódnemzedéke. „*A mai Magyaregregy 60A bükkös erdőrészlet a Pécsi Püspöki Uradalom 1885-ös üzemterve alapján nagy valószínűséggel helyi szaporítóanyagból származó természetes újulat. Kijelenthető, hogy az állomány az elmúlt száz évben gondos erdészeti kezelést kapott*” (Ripszám 2023). Farchau plaszticitását megerősíti egy szomszédos származás kiemelkedő növekedése egy kontinentális német helyszínen (Liepe et al. 2024). Ugyanakkor Ördög völgy lemaradásának a csekély  $\Delta EQ$  távolság mellett (0,26; 9.3.-3. ábra) nincs magyarázata.

Délkelet-európai kísérletekben szerepel még a zalai bükkösöket képviselő valkonyai származás is. Ott kedvező fiatalkori növekedést és a legjobb megmaradást produkálta (Stojnić et al. 2015). Különböző termőhelyeken mért egyenletes teljesítménye a zalai származások megfelelő fenotípusos stabilitására, általános alkalmazkodóképességére utal.

Itt kell megemlíteni az OMMI szervezésében, hazai származásokkal alapított származási kísérletsorozatról, amelyből egyedül a telkibányaiban végeztek genetikai vizsgálatot (Bordács 2008). A bükk elterjedését jól képviselő hét populáció 11 izoenzim-génhelyén végzett elemzés alapján a hazai származások között különbségek mutathatók ki. Az Északi- és a Dunántúli-középhegység, valamint a Dél-Dunántúl populációi genetikailag elkülöníthető csoportokat képeznek. Az adatokból készült dendrogram (1.4.-10. ábra) összehasonlítása a bükkre kialakított hazai származási körzetekkel igazolja, hogy a körzetek határai jól illeszkednek a genetikai diverzitás megállapított mintázatához (Mátyás 2000; 1.4.-9. ábra).

Az áttelepítéssel szimulált klíma változásából fakadó növedék-visszaesés számításához a származások 15 éves kori átlagos átmérőjét használta fel Kóczán-Horváth (2016). Az átmérőt a helyi éghajlati viszonyokhoz alkalmazkodott, 0  $\Delta EQ$  értékű kontroll populáció százalékában kifejezve, korrelációt számított az  $EQ$  index-szel jellemzett ökológiai/áttelepítési távolsággal ( $\Delta EQ$ ). A klíma változás hatását leíró *áttelepítési egyenlet* (*transfer equation*) egyáltalán nem az ökológiából ismert szimmetrikus haranggörbe, hanem a szárazodás irányában monoton csökkenő egyenes (Mátyás et al. 2011; Horváth & Mátyás 2014). Az összefüggés magasan szignifikáns, és a származások között tapasztalható variancia mintegy 25%-át magyarázza ( $R^2=0,247$ ; 9.3.-4. ábra). Az egyenlet előrevetíti azt a növedékvesztést, amely a klíma gyors változása miatt a populációkat *a jövőben, saját termőhelyükön* érheti. A származások a szimulált klímahatásra nemcsak növedékükben, hanem más fenotípusos tulajdonságaikban, így a fenológia, koronaforma tekintetében is reagálnak (lásd az »1.4. A bükk genetikai változatossága« fejezetet is).

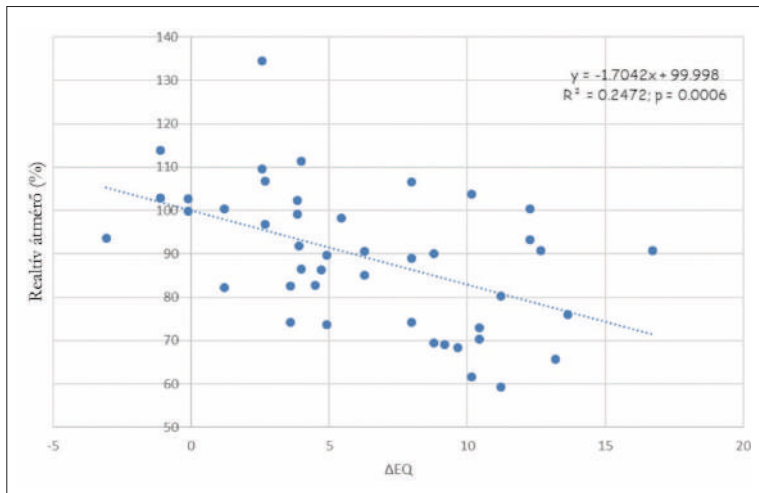
Figyelemre méltó, hogy az egyenlet lejtése csekélyebb a vártnál, és a nagymértékű szórás jelzi, hogy a populációk plaszticitása is változó. A lejtés enyhességét elsősorban a bükk plaszticitásával lehet magyarázni; szinte valamennyi származás, ha változó mértékben is, de a szárazsági stressz ellenére számottevő növedéket produkált. Az elemzés bizonyítja, hogy a bükk irodalomban gyakori utalás a bükk fenotípusos plaszticitására a faj evolúciós stratégiájának része. A legújabb kutatások is aláhúzzák a faj kiemelkedő fenotípusos plaszticitását és annak jelentőségét (Petrík et al. 2023). Például Bucsután még a legnagyobb ökológiai távolságot felmutató osztrák populáció (Hinterstoder 35.; tszfm.: 1250 m,  $EQ$ : 8,6; lásd a 9.3.-2. táblázatot) is túltele a számára durva hőmérséklet- és csapadécsökkenést Bucsután.

A 9.3.-4. ábra egyenletének mérsékelt lejtése jelzi: még az éghajlat erőteljes romlása sem vezet a bükk populációk gyors összeomlásához. Ez azonban csak a szárazsági határtól messze fekvő populációk számára érvényes. A magyar bükk állományok jövőjére vonatkozóan az egyenlet nem szolgáltat választ arra, hogy a szárazsági határhoz közeli populációk milyen fenotípusos plaszticitási tartalékkal rendelkeznek a fajra megállapított szárazsági határ elérésekor. Ehhez egyedi származások több kísérleti helyszínen mért adatai alapján számított, ún. reakciónormák szükségesek.

#### *Az európai származások plaszticitásának összehasonlítása a Kárpát-medencei kísérletekben*

A bükk nemzetközi származási kísérletsorozat nagy hiányossága, hogy a nagyszámú kísérlet adatbázisát eddig nem dolgozták fel az *egyedi* populációk több kísérletben meghatározott teljesítménye tekintetében, pedig ezek a reakciónormák szolgáltatnának pontosabb becslést az área különböző alkalmazkodottságú populációinak szélsőséges klímatis körülmények között megnyilvánuló plaszticitásáról. Ennek hiányában három Kárpát-medencei kísérlet válogatott adatait értékeltük.

Az 1998-as európai bükk származási kísérletsorozat öt kísérlete került a Kárpát-medence környezetébe, amelyek közül a zalai Bucсутa, a középhegységi szlovén Straža, és a legmagasabban fekvő szlovák Mlácik 12 közös származást tartalmaz. (A két további kísérlet, a horvátországi Kutinán, illetőleg az erdélyi, Bihar-hegy-



9.3.-4. ábra. A szimulált klímaváltozás, egyben az alkalmazkodottság gyengülése következtében mért átmérő-növekedés lassulása 15 éves bükk populációkban, a helyi származás százalékában, az ökológiai távolság ( $\Delta EQ$ ) függvényében, Bucsután (Kóczán-Horváth 2016)



ségi Poiana Florilor/Flóra réten nem voltak alkalmasak az összevetésre.) A maradék három helyszín adatai csak közelítő eredményt szolgáltathatnak, emellett nem tartalmaznak közös magyar kontroll populációt. A kísérletek ökológiailag nagyon eltérő klímákat képviselnek; Bucsuta viszonylag szélsőséges kontinentális helyszín, Mlácik éghajlata montán-kontinentális, a szlovén Straža viszont a bükk számára optimális termőhely (9.3.-1. táblázat). A három kísérlet adatai lehetőséget adnak az európai bükk származások alkalmazkodó-képességének, vagyis fenotípusos plaszticitásának hozzávetőleges összehasonlítására. Két megközelítésben, áttelepítési egyenletek és egyedi reakciónormák lejtésének (regresszós koefficienseinek) összevetése alapján mutatjuk be a populációk válaszreakcióját, 8 éves átlag magassági adatokból (Mátyás et al. 2011; Horváth & Mátyás 2014).

Az *áttelepítési egyenletek* egy-egy kísérleti helyszínen elemzett *összes populáció* adatai alapján mutatják a helyszíni klíma hatását az adott kísérletben mért magassági növekedésre. Az áttelepítési regressziók független változója a  $\Delta EQ$ , vagyis a populációk származási klímájának a távolsága a teszt klímájától. A helyszínek eltérő klímájának megfelelően a populációkra megállapított ökológiai távolságok értéke ( $\Delta EQ$ ) minden kísérletben más. Mindhárom kísérletre ugyanazon tíz származás magasságából számított lineáris „áttelepítési egyenletek” lejtése a 9.3.-1. táblázatban található. (A két 1000 m feletti, magasabb hegyvidékinek minősített származás, Hinterstoder (35.; AUT) és Postojna (53.; SLO) adata nem került ebbe a számításba, eltérő válaszreakciójuk miatt.)

**9.3.-1. táblázat. Három Kárpát-medencei bükk származási kísérlet klíma adatai a közelmúltban (1960–1990), 8 éves kori átlag magasságai és lineáris áttelepítési egyenletei lejtése ( $H = (f)\Delta EQ$ )**

| Kísérlet    | Tszf. magasság (m) | Átl. hőmérséklet, július (°C) | Átl. csapadék (mm) | Ellenberg-index (EQ) | 8 éves átlag H (cm) | Lineáris regresszió lejtése |
|-------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|
| Straža SLO  | 545                | 19,3                          | 1260               | 15,3                 | 228,3               | +0,628                      |
| Bucsuta HUN | 200                | 19,7                          | 747                | 26,3                 | 218,9               | -0,690                      |
| Mlácik SVK  | 850                | 16,8                          | 779                | 21,5                 | 185,2               | -1,572                      |

A szélsőséges klímájú Bucsután szinte minden populáció esetében a szimulált melegedés növekedés csökkenést váltott ki, a lejtés negatív előjelű, ugyanígy Mlácikon is. Viszont a Bucsutánál alig hűvösebb, viszont jóval csapadékosabb klímájú Stražában ugyanazon populációk növekedésében a kedvezőbb klímába telepítés növekedés javulást és pozitív összefüggést eredményezett (9.3.-1. táblázat). Vagyis Stražában a pozitív trendet mutató áttelepítési egyenlet *ezúttal kedvezőbb, csapadékosabb irányban változó feltételeket igazolt vissza*. Figyelemre méltó, hogy a Straža-ban kissé hűvösebb, csapadékosabb környezetbe került populációk közül a legjobb növekedést az eredetileg mintegy 8  $\Delta EQ$  értékkel szárazabb helyszínhez alkalmazkodott lengyel Tarnawa (40.) produkálta (9.3.-2. táblázat). Ez a jelenség a bükk esetében is igazolja, hogy az eredeti helyszíni klímához való alkalmazkodás korántsem jelent a populáció számára maximum teljesítményt; a feltételek javulása esetén a populáció növekedése lineáris javulást mutathat (Mátyás et al. 2023).

A *reakciónormák* egyes származásokra *több (itt: csak három) helyszín adatából* jellemzik a populáció válaszreakcióját a környezet klímájának változására, ahol a független változó ugyancsak a kísérleti helyszíneken mért ökológiai távolság ( $\Delta EQ$ ), és a függő változó a magassági növekedés átlaga. A válaszreakciót a regressziós egyenlet lejtése jellemzi. Mivel minden származásra mindössze három adat állt rendelkezésre, a regressziós (lejtés) koefficiensek csak tájékoztató jellegűek.

A 9.3.-2. táblázat a populációk alkalmazkodottságát az eredeti származási helyszín 20. század végi klímájával karakterizálja, és  $EQ$  értékük alapján hegyvidéki (A), kontinentális (C) és atlanti/maritim (M) csoportba sorolja. Feltűnő a három kísérlet adatából számolt átlagmagasságok aránylag csekély szórása, amely a három eltérő termőhelyen mért értékek átlagolásával magyarázható. A reakciónormák lejtése, az adatok



bizonytalansága ellenére, eltérő trendeket mutat. Az atlantiak (M) reakciónormája, a kontinentálisakkal (C) ellentétben, pozitív lejtést eredményezett, vagyis a melegedéssel növekedésük gyorsult. A kontinentális populációk eleve közelebb vannak a szárazsági határhoz, ezért (egy kivétellel) növekedésük a szimulált melegedés és szárazodás miatt lassult. Az atlantiak és a kontinentálisak eltérő alkalmazkodottsága azt sejteti, hogy környezeti stressztényezők nem azonos súlyúak, és a populációk a szárazsági stressz növekedésére eltérően reagálnak.

9.3.-2. táblázat. A három kísérletben közös 12 populáció származási klíma adatai a közelmúltra (1960–1990), a régiók és  $EQ$  értékeik sorrendjében, valamint a reakciónormák lejtése ( $H = (f)\Delta EQ$ )

| Szár-<br>mazás* |     | Szár-<br>mazás neve,<br>ország kódja | Tszf.<br>magas-<br>ság<br>(m) | Átlag<br>hőmérsék-<br>let, július<br>(°C) | Éves<br>csapadék<br>(mm) | Ellenberg-<br>index<br>( $EQ$ ) | Átlag<br>magasság**<br>( $H$ , cm) | Reakció-<br>norma<br>lejtés |
|-----------------|-----|--------------------------------------|-------------------------------|---|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| ré-<br>gió      | kód |                                      |                               |   |                          |                                 |                                    |                             |
| A               | 35  | Hinterstoder AUT                     | 1250                          | 11,8                                      | 1380                     | 8,6                             | 216,4                              | +2,660                      |
| A               | 53  | Postojna SLO                         | 1000                          | 17,0                                      | 1718                     | 9,9                             | 222,5                              | -1,432                      |
| C               | 51  | Horní Planá CZE                      | 990                           | 13,4                                      | 1014                     | 13,2                            | 194,8                              | -3,313                      |
| C               | 6   | Plateux FRA                          | 600                           | 17,5                                      | 1223                     | 14,3                            | 197,5                              | -4,239                      |
| C               | 48  | Jablonec CZE                         | 760                           | 13,5                                      | 944                      | 14,3                            | 203,0                              | -1,014                      |
| C               | 31  | Urach GER                            | 760                           | 16,4                                      | 887                      | 18,5                            | 211,7                              | +2,251                      |
| C               | 40  | Tarnawa POL                          | 540                           | 17,6                                      | 762                      | 23,1                            | 228,1                              | -1,440                      |
| M               | 17  | Westfield GBR                        | 10                            | 14,0                                      | 741                      | 18,9                            | 214,1                              | +2,746                      |
| M               | 21  | Grasten DEN                          | 45                            | 16,3                                      | 810                      | 20,1                            | 189,3                              | +1,458                      |
| M               | 14  | Aarnink NED                          | 45                            | 17,5                                      | 794                      | 22,0                            | 229,3                              | +1,258                      |
| M               | 13  | Soignes BEL                          | 110                           | 17,9                                      | 796                      | 22,5                            | 214,4                              | +0,524                      |
| M               | 67  | Bilowo POL                           | 250                           | 15,5                                      | 643                      | 24,1                            | 216,5                              | +1,740                      |

\*Az 1.4.-6. térképes ábrán az itt szereplő származások helyszínei a kódjaik alapján földrajzilag azonosíthatók

\*\*8 éves kori adat, a három kísérlet átlagában

Jelentős mortalitás a bucsutai helyszínen egyedül két északi (a dán és a svéd) származás parcelláiban lépett fel (9.3.-6b. ábra). A három kísérletből egyedül a Mlácik-ban szereplő bolgár Gramatikovo (57.) mutatott teljes pusztulást (9.3.-5. ábra). Teljesítménye, plaszticitása más európai kísérletekben is gyenge (lásd az 1.4.-6. ábrán). Ez a származás a közönséges bükk áréáján kívüli *Fagus orientalis* legészakibb populációja, klimatikus távolsága ( $\Delta EQ$ ) Mlácik-ban  $-6,30 \text{ °C mm}^{-1}$ . A mortalitás oka valószínűleg nem egyedül az ökológiai/klimatikus távolság, hanem az eltérő fenológiai viselkedés hatása is (pl. kései vagy korai fagykárosítás). Az említett hiányosságok miatt a három kísérletből számolt reakciónormák nem szolgáltatnak biztos támpontot a tömeges mortalitás bekövetkezéséhez, de figyelmeztetnek arra is, hogy a támogatott áttelepítés nagy távolság esetén nemcsak növekedési, hanem fenológiai problémákat is felvetet.

Egy hasonló, kocsánytalan tölgyvel végzett elemzés (Mátyás 2021) szerint a szárazsághoz jobban alkalmazkodott populációk csapadékos klímában gyengébben szerepelnek, de száraz klímában nagyobb toleranciájuk miatt jobban növekednek, mint a csapadékosabb klímából származók. Ezt a feltételezett csereviszonyt (*trade-off*-ot) a csemetekerti vizsgálatok alapján már kimutatták bükkre is (Nguyen et al. 2017) és a nemzetközi származási kísérlet adatai is alátámasztják (lásd az 1.4. fejezetben), de a bucsutai kísérletünkben nem sikerült egyértelműen igazolni. A hűvös Svédországból áttelepített Torup (23.) származás Bucsután (és Mlácikon is) a várt reakciót, vagyis gyenge növekedést és gyenge megmaradást mutatott. Ugyanakkor



9.3.-5. ábra. A bulgáriai Gramatikovo (57.) üres parcellája a szlovákiai, Mlácik-i kísérletben, 2006-ban. A *Fagus orientalis* legészakibb balkáni populációjának kipusztulása figyelmeztet, hogy túl nagy ökológiai távolság esetén a támogatott áttelepítés nemcsak növekedési, hanem fenológiai problémákat is felvetethet (Fotó: Mátyás Csaba)

például a 36-ból egyik legjobban növő, és legjobb törzsalakú származás az észak-német Farchau (26.) lett, amely az atlanti és kontinentális zónák határáról került a szélsőséges helyszínre (Torup és Farchau habitusa, megmaradása a 9.3.-6. ábrákon látható).

### *A származási kísérletek tapasztalatai*

Összefoglalva a bükk származási kísérletek eredményeit, bár azokat sokféle bizonytalanság terhelheti, mégis, adataik kikerülhetetlenek a klíma-alkalmazkodási stratégiák kidolgozásához. Ezek a kísérletek felhívják a figyelmet a bükk nem eléggé feltárt plaszticitására, valamint a génkészletet helyileg befolyásoló egyéb, *vegetáció- és állománytörténeti hatásokra*, ami más kísérletek esetében is megnehezítette az egyértelmű következtetések levonását a bükk kísérletekből („*beech is a bitch*” – Mátyás Cs.). A bükk populációk a klimatikus feltételek változására mutatott, sokszor szabálytalannak tűnő reakciója nagy valószínűséggel a faj kiemelkedő alkalmazkodóképességére utal – amelynek azonban határt szab a szárazságtűrés. Sajnos a potenciálisan nagyobb szárazságtűrést hordozó dél-balkáni populációk a bucsutai kísérletben nem kaptak helyet, ezért elbírálásuk hazai feltételek között csak áttelepítéssel lehetséges (Stojnić et al. 2015). Mindezek



a) Farchau, Schleswig-Holstein, Németország 501,5 cm, 68%



b) Torup, Svédország 249,2 cm, 30%



c) Farkasgyepű, Veszprém vm. 413,6 cm, 46%

9.3.-6.a-c. ábra. A bucsutai nemzetközi bükk származási kísérlet három származása, átlagos magassága (cm) és átlagos megmaradása (%) 14 éves korban

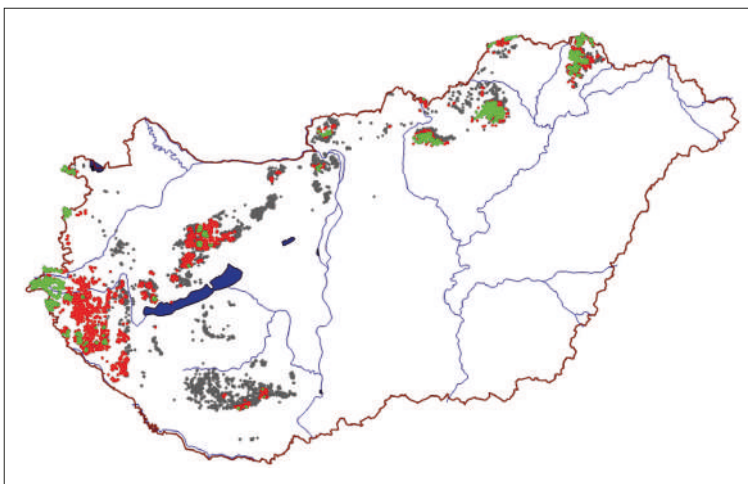


miatt, csak általános ajánlás adható a magyarországi szárazsági határon siker reményében alkalmazható, fokozottabb klímaterenciával rendelkező idegenhonos populációk származására.

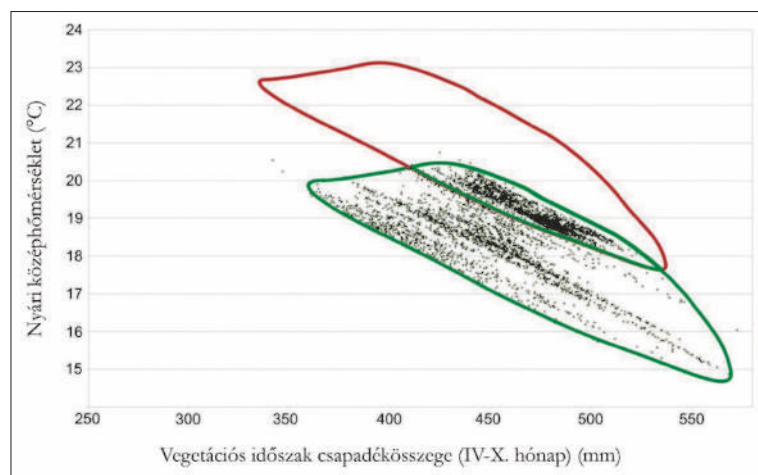
### A bükk klímazóna eltolódás előrejelzése klímamodellek alapján

A hazai zonális (klímafüggő) helyzetű bükk állományok adatait felhasználva Czucz és munkatársai (2013) a jelenlegi bükkös klíma területi változását a 21. század végéig vetítették előre. Az előrejelzéshez az IPCC több kibocsátási szcenárióját és többféle légköri modellt alkalmaztak a társadalmi-gazdasági és az éghajlati bizonytalanságok figyelembevételére. A modellezés szerint a bükk klímazóna területe drasztikusan le fog csökkenni az évszázad végéig. A század eleji bükk klímájú termőhelyek 56–99%-a elveszhet az évszázad közepére, jelentős részük már most is kívül esik a bükkös klímazónán.

Führer és munkatársai (2011, 2017) más módszerekkel hasonló végkövetkeztetésre jutottak: a bükk klímazóna területe a 21. század közepére drasztikusan csökkenhet, az ország területének 2%-áról 1%-ra (9.3.-7. ábra). A klímajellemzők közül a májusi-koranyári hőmérséklet és az éves csapadék, illetve a tényezők kombinációja, az Ellenberg-index ( $EQ$ ) játszottak döntő szerepet az előrejelzésben. Az Ellenberg-index kiemelkedő szerepe egyértelműen aláhúzza a bükk érzékenységét a nyári szárazságra; ezt a szárazsági határral kapcsolatos ökológiai és dendrometriai megfigyelések is megerősítették (Berki et al. 2009; Führer et al. 2017). Az Ellenberg-indexhez nagyon hasonló végeredmény-



9.3.-7. ábra. A bükkös klíma elterjedése eltérő időhorizontokon, az Erdészeti Adattár jelenkori erdőállomány adatai alapján. Zöld: hosszú távon bükkös klímában maradó állományok; piros: az évszázad első évtizedeiben még bükk klímában fekvő állományok; fekete: bükkösök már jelenleg is bükk klímán kívüli termőhelyeken (Führer et al. 2011)



9.3.-8. ábra. A bükk klímaterének Magyarországon 2000-ben (zöld), és 2050-ben (piros), a Prudence klímamodellek szerint. Az ábrán az Erdőleltár jelenlegi bükkös állományai egy-egy ponttal szerepelnek (Szerkesztette: Rasztovits Ervin)

nyel szolgált a FAI-indexszel végzett elemzések (Führer et al. 2011). A fafaj hazai klímaterét vizsgálva (9.3-8. ábra) is megállapítható, hogy már a század közepére a bükk állományok nagy többsége az eddig elfoglalt klímaterén kívülre kerül. A két klíma-változó kontextusában a bükkös állományokat képviselő pontok „rétegződésének” oka a csapadék- és hőviszonyok eltérő viszonya a nagyobb tájegységekben (lásd a 1.3.-1. ábrát is).

Az előrejelzések természetesen nem a bükk várható áréájára, hanem a bükk klímazóna kiterjedésére vonatkoznak. Az eredményt többféle bizonytalanság terheli. A változók közül

a jövőbeni csapadék becslése a Kárpát-medence meteorológiai elhelyezkedése miatt, a jövőben csökkenő és a növekvő csapadékú zónák találkozásánál, különösen bizonytalan. Az elemzések emellett nem terjednek ki a fafaj biológiai adottságaira, így a hosszú élettartam alatt érvényesülő fenotípusos plaszticitás készségére; bár azt terepi kísérletek igazolják, de ezt többnyire figyelmen kívül hagyják a modellezések során (Mátyás et al. 2009). Figyelembe kell venni azt is, hogy az előrevetítés csak a kifejezetten klímfüggő termőhelyekre vonatkozik, a kedvezőbb feltételekkel rendelkező, nem zonális helyszínek (pl. szivárgó vizes vagy északi fekvésű lejtők) hosszabb ideig alkalmasak lehetnek a bükk számára. A bükkösök alkalmazkodását segítő erdőművelési beavatkozások is módosíthatják az előrevetítéseket.

### A klímaváltozás spontán és mesterséges migrációs követésének esélyei

A bükk makkjának kis terjedési rádiusza és terjesztő vektor hiányában, magterjedés révén működő migrációja mérsékelt. A klimatikus változásokat hatékonyan követő migráció lehetőségét az área változást modellező előrevetítések mégis általában adottnak tekintik. Pedig a bükk esetében is szembeűnő a faj migrációjának lemaradása a klíma változási üteméhez képest. Észak-amerikai paleobotanikai vizsgálatok migrációs adatai szerint (Davis et al. 2006) míg a tölgyek posztglaciális vándorlási üteme 7,5–50 km/évszázad, a bükké 20–30 km/évszázad. Közép-Európára a minimum érték vehető alapul, a K-Ny irányú hegyláncok és az alföldek akadályozó hatása miatt. Ugyanakkor az izoterma-eltolódás horizontális (D→É) becsült eltolódása síkvidéken, mindössze 2 °C hőmérséklet-emelkedés esetén mintegy 290 km egy évszázad alatt (Jump, Mátyás & Peñuelas 2009). Amennyiben a bükk átlagos spontán vándorlási sebességét 20 km/évszázadnak feltételezzük, pl. a 2 °C hőmérséklet emelkedés „utoléréséhez” 1450 évre volna szükség, eltekintve a migrációt ellehetetlenítő emberi beavatkozásoktól és földrajzi akadályoktól (Mátyás et al. 2010; Mátyás 2017b). Tekintettel arra, hogy a századvégre várható hőmérséklet-emelkedés nagy valószínűséggel 2 °C-nál magasabb lesz, a populációk spontán követő vándorlása, mint alkalmazkodási lehetőség, kizárható még az elterjedés északi, termikus határán is.

Az alkalmazkodást segítheti a haploid pollen migrációja is. A bükk pollen repülést befolyásoló légköri trajektóriák irányait és a beérkező pollen feltételezett eredetét Belmonte és munkatársai (2008) több évtizeden keresztül vizsgálták a keleti Pireneusokban. Adataik szerint még a mintegy 1500 km-es távolságra fekvő pollenforrások (Vogézek, Schwarzwald) befolyása is valószínűsíthető volt, ami arra utal, hogy a más klimatikus viszonyokhoz alkalmazkodott génállomány beszűrődése játszhat némi szerepet az alkalmazkodás fenntartásában, amennyiben kedvező (déli) irányból érkezik.

### Az elemzésekből levonható megállapítások

Bár egyik előrevetítési megközelítés sem mentes a bizonytalanságtól, az eredmények megerősítik, hogy a klimatikus szárazodás és a szélsőségek erősödése a szárazsági határon vitathatatlanul a bükk vitalitása csökkenését idézi elő, amely további területi veszteségek, betegségek és rovarkárosítások fellépését vetíti előre (Janik et al. 2016, 2020). A bükk alkalmazkodásának javítása elsősorban a meglévő állományok megőrzésére és szénkészletük megóvására kell épüljön (Somogyi 2017). Kiemelendő az adaptív erdőkezelés és a genetikai erőforrások megőrzésének, bölcs felhasználásának fontossága (Führer 2010; Mátyás 2002a, 2002b, 2017a; Mátyás et al. 2022). Az eddigi tapasztalatok szerint azonban, a szárazsági határ közelsége és a változások sebessége miatt, hazánkban sem a természetes állapot helyreállítása, sem az alkalmazkodó erdőkezelés különböző megoldásai a bükk állományok nagy részének tartamos fenntartására nem kínálnak végleges megoldást (9.3.-9. ábra).

A bükk mesterséges felújítása tekintetében a helyi vagy klimatikailag közeli származások szaporítóanyagának választását a kísérleti eredmények alapján is helyesnek ítéltjük, de az állományok erdőművelési és spontán evolúciós „előlete” (negatív beavatkozások, vagy szélsőséges termőhelyek szelektív hatása esetén) az elvárt teljesítményt módosíthatja, amit a szaporítóanyag forrásának kiválasztásakor mérlegelni kívánatos.





**9.3.-9. ábra. Bükkös spontán száradása a Kőszegi-hegységben, széldöntés után. Az állományklíma elvesztésének következményei emlékeztetnek, hogy adaptív erdőművelési megoldásokkal ellensúlyozni kell a klímaváltozás hatásait (Fotó: Borovics Attila)**

A hazai származások (főleg DNy-Dunántúlról) bizonyították plaszticitásukat külföldi kísérletekben is. Külföldi és hazai eredetű szaporítóanyag *támogatott áttelepítése* szempontjából a következő tapasztalatok vonhatók le:

- a földrajzi lehatárolás helyett helyesebb ökológiai/klimatológiai alapon (a tszf. magasság figyelembe vételével!) meghatározni az áttelepítésre alkalmas populációk körét;
- a szárazsági határ közeléből származó (délkelet-európai, alacsony tszf. magasságról származó) populációk megőrzése és bevonása a támogatott migrációba külön figyelmet kíván. Aszály-toleranciájuk nagyobb, de számottevően hűvösebb klímába telepítve, kései fagyokra érzékenyek lehetnek (lásd Gramatikovo-t a 9.3.-5. ábrán).

Befejezésül ki kell emelni, hogy ebben a fejezetben a bükk érzékenységét és alkalmazkodását kizárólag a makroklíma változása, mint elsődleges hatás szempontjából tárgyaltuk. Minden szakember számára nyilvánvaló, hogy bükköseink egészségi állapotát, vitalitását vagy leromlását számos tényező együttesen határozza meg. A klíma változása mellett hasonló fontosságúak a további abiotikus termőhelyi tényezők, az antagonista („károsító”) fajok szerepe vagy az erdőművelési beavatkozások módozatai. Az utóbbi kérdésekkel a »7. A bükkösök erdővédelmi kérdései« főfejezet foglalkozik.

A klimatológiai problémák kiemelt tárgyalását az a körülmény indokolja, hogy az eddig stabilnak vélt klíma emberi tevékenység által kiváltott, robbanásszerű változása az erdészetet néhány évtizede ugyanúgy felkészületlenül érte, mint a gazdasági élet és a társadalom minden más szektorát is. Az erdőgazdálkodás 300 éves alapelve, a tartamosság bevezetése óta ez a kihívás bizonyosan a legnagyobb. Rákényszerít, hogy jobban megismerjük az erdei életközösséget és termőhelyét, fafajaink képességeit és tűréshatárait – és emellett az alkalmazkodó erdőművelés lehetőségeit. A tapasztalatok, kutatási eredmények minél gyorsabb, széles körű alkalmazását a gyorsan pergő idő sürgeti.

## Irodalom

- Belmonte J., Alarcón M., Avila A. et al. 2008: Long-range transport of beech (*Fagus sylvatica* L.) pollen to Catalonia (North-eastern Spain). – International Journal of Biometeorology 52: 675–687.
- Berki I., Rasztovits E., Móricz N. & Mátyás Cs. 2009: Determination of the drought tolerance limit of beech forests and forecasting their future distribution in Hungary. – Cereal Research Communications 37: 613–616.
- Bordács S. 2008: Állományalkotó kemény lombos fajok szaporítóanyag-termelési erőforrásainak fejlesztése. – OTKA T46940, kutatási Zárójelentés, 22 pp.
- Czúcz B., Gálhidy L. & Mátyás Cs. 2013: A bükk és a kocsánytalan tölgy elterjedésének szárazsági határa. – Erdészettudományi Közlemények 3(1): 39–53.
- Davis M.E., Shaw R.G. & Erterson J.R. 2005: Evolutionary responses to climate change. – Ecology 86: 1704–1714.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. – „KLÍMA-21” Füzetek 61: 98–107.
- Führer E., Gálos B., Rasztovits E., Jagodics A. & Mátyás Cs. 2017: Erdészeti klímaosztályok területének várható változása. A klímaváltozáshoz alkalmazkodó erdőgazdálkodás kihívásai. III. – Erdészeti Lapok 152(6): 174–177.
- Führer E., Mátyás Cs., Csóka Gy., Lakatos F., Bordács S., Nagy L. & Rasztovits E. 2011: Current status of European beech (*Fagus sylvatica* L.) genetic resources in Hungary. In: Frýdl J., Novotný P., Fennessy J. & von Wühlisch G. (eds.):

- Genetic resources of beech in Europe – current state. COST Action E 52. – Landbauforschung vTI, Sonderheft 350, pp. 152–163. [hasonmás kiadás: *Communicationes Instituti Forestalis Bohemicae* 25: 152–163.]
- Horváth A. & Mátyás Cs. 2014: Növedécsökkenés előrevetítése egy bükk származási kísérlet alapján. – *Erdészettudományi Közlemények* 4(2): 91–99.
- Janik G., Hirka A., Koltay A., Juhász J. & Csóka Gy. 2016: 50 év biotikus kárai a magyar bükkösökben. – *Erdészettudományi Közlemények* 6(1): 45–60.
- Janik G., Pödör Z., Koltay A., Hirka A., Juhász J., Kovács Gy. & Csóka Gy. 2020: Effects of Meteorological and Site Parameters on the Health Status of Beech (*Fagus sylvatica* L.) Forests in Hungary. – *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 16(2): 67–78.
- Jump A., Mátyás Cs. & Peñuelas J. 2009: The paradox of altitude for latitude comparisons in species range retractions. – *Trends in Ecology and Evolution* 24(12): 694–700.
- Kóczán-Horváth A. 2016: Beech adaptation to climate change according to provenance trials in Europe. – PhD értekezés, NyME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron, 75 pp.
- Liepe K., van der Maaten E., van der Maaten-Theunissen M., Kormann J., Wolf H. & Liesebach M. 2024: Ecotypic variation in multiple traits of European beech – selection of suitable provenances based on performance and stability. – *European Journal of Forest Research* 143: 831–845.
- Mátyás Cs. 1996: Climatic adaptation of trees: Rediscovering provenance tests. – *Euphytica* 92(1–2): 45–54.
- Mátyás Cs. 2002a: A bükk [genetikai jellemzése]. In: Mátyás Cs.: *Erdészeti–természetvédelmi genetika*. – Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 345–351.
- Mátyás Cs. 2002b: Származási körzetesítés. In: Mátyás Cs.: *Erdészeti–természetvédelmi genetika*. – Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 286–290.
- Mátyás Cs. 2017a: Alkalmazkodás a törvények, társadalmi elvárások és az ökológiai kihívások keresztműzében. A termőhelyi feltételek és a szárazsági határ eltolódása. – *Erdészeti Lapok* 152(4): 102–106.
- Mátyás Cs. 2017b: Az alkalmazkodóképesség modellezése származási kísérletekben. In: A célállomány-rendszer aktualizálása a döntéstámogató rendszerben. – *Erdészeti Lapok* 152(11): 349.
- Mátyás Cs. 2021: Adaptive pattern of phenotypic plasticity and inherent growth reveal the potential for assisted transfer in sessile oak (*Quercus petraea* L.). – *Forest Ecology and Management* 482: 118832.
- Mátyás Cs., Balázs P. & Nagy L. 2023: Climatic Stress Test of Scots Pine Provenances in Northeastern Europe Reveals High Phenotypic Plasticity and Quasi-Linear Response to Warming. – *Forests* 14: 1950.
- Mátyás Cs., Berki I., Czúcz B., Gálos B., Móricz N. & Rasztovits E. 2010: Future of Beech in Southeast Europe from the Perspective of Evolutionary Ecology. – *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 6: 91–110.
- Mátyás Cs., Bidló A., Czimmer K., Gálos B., Gribovszki Z., Führer E., Illés G. & Borovics A. 2022: A klímaváltozáshoz alkalmazkodás támogatása az erdészetben: Az Agrárklíma döntéstámogató rendszer. – *Léghő* 67(1): 4–11.
- Mátyás Cs., Bozic G., Gömöry D., Ivankovic M. & Rasztovits E. 2009: Juvenile growth response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to sudden change of climatic environment in SE European trials. *iForest – Journal of Biogeosciences & Forestry* 2: 213–220.
- Mátyás Cs., Božič G., Gömöry D., Ivanković M. & Rasztovits E. 2011: Response of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) to Sudden Change of Climatic Environment in SE European Provenance Trials. In: Wühlisch G. & Alia R. (eds.): *Genetic resources of European beech for sustainable forestry*. – Monografias INIA Madrid, Seria Forestal 22: 127–140.
- Mátyás Cs. & Yeatman C.W. 1987: A magassági növekedés adaptív változatosságának vizsgálata *P. banksiana* populációkban. *Az Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* 1: 191–197.
- Nguyen Q.N., Polle A. & Pena R. 2017: Intraspecific variations in drought response and fitness traits of beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings from three provenances differing in annual precipitation. – *Trees* 31: 1215–1225.
- Petrík P., Grote R., Gömöry D., Kurjak D., Petek-Petrík A., Lamarque, L.J., Sliacka-Konôpková A., Mukarram M., Debta H. & Fleischer P. Jr. 2023: The Role of Provenance for the Projected Growth of Juvenile European Beech under Climate Change. – *Forests* 14: 26.
- Rípszám I. 2023: Személyes közlés 2023. 12. 15-én (e-mail)
- Somogyi Z. 2017: Az elővigyázatosság elve és az éghajlatváltozás – Mire figyelmeztetnek az erdők? – *Magyar Tudomány* 6: 252–657.
- Stojnić S., Orlović S., Ballian D., Ivanković M., ...& von Wülisch G. 2015: Provenance by site interaction and stability analysis of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances grown in common garden experiments. – *Silvae Genetica* 64: 133–147.
- Ujváriné Jármay É., Nagy L. & Mátyás Cs. 2016: The IUFRO 1964/68 Inventory Provenance Trial of Norway Spruce in Nyírjes, Hungary – results and conclusions of five decades. – *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 12. (különszám) 178 pp.
- von Wühlisch G. & Alia R. (eds.): *Genetic resources of European beech for sustainable forestry*. Proc. COST E52 Meeting, Burgos, 4–6. May 2010 – Monografias INIA Madrid, Seria Forestal, 148 pp.