

AZ ERDEI GÉNKÉSZLETEK SZEREPE A KLÍMAVÁLTOZÁSHOZ ALKALMAZKODÓ GAZDÁLKODÁSBAN

Mátyás Csaba¹ és Kramer, Koen²

¹Nyugat- magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezettudományi Intézet

²Alterra Intézet, Wageningen, Hollandia

Kivonat

Az előrevetített klímaváltozásnak az európai erdők jövőbeni egészségi állapotára és növekedésére gyakorolt hatása egyelőre tisztázatlan. Négy modell-fajfajjal, származási kísérletekben végzett elemzéseink és dinamikus modelljeink szerint regionálisan változó lesz a hatások mértéke. Az atlanti-mérsékelt zónában a várt hőmérséklet-emelkedés – megfelelő csapadék esetén – akár további növedék-gyorsulást eredményezhet. A déli, kontinentális-mediterrán övezetben a nyári aszályok erősödése fokozódó károkat és mortalitást vált ki, ami helyi kihalást, az elterjedési terület eltolódását is előidézheti. Az elterjedés alsó (szárazsági) határán az erőteljes stressz-szelekció a genetikai diverzitás és a stabilitás csökkenésével járhat, viszont ezek a folyamatok az alkalmazkodás előfeltételei. A diverzitásban és stabilitásban talált regionális különbségek megfontolt hasznosítása hozzájárulhat a klímaváltozás kockázatainak csökkentéséhez, a jövő faállományainak stabilitásához. Az európai szakpolitikusok, döntéshozók részére készült, itt ismertetett szakpolitikai tájékoztatót a FORGER nevű, EU-s kutatási program keretében dolgoztuk ki és publikáltuk (Mátyás és Kramer 2016).

Kulcsszavak: adaptáció, genetikai diverzitás, alkalmazkodó erdőgazdálkodás, származási kísérlet, dinamikus modellezés

ADAPTIVE MANAGEMENT OF FORESTS AND THEIR GENETIC RESOURCES IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE

Abstract

The consequences of the projected climatic changes on the health and growth of European forests are for the time being still unresolved and debated. Analysis of provenance tests and dynamic modeling of four European tree species indicate that the impacts are regionally different. In the temperate-maritime zone, expected rise of temperature – in case of sufficient precipitation – may lead to growth acceleration without significant genetic change. In the southern continental and Mediterranean zone, at the lower (xeric) limits of distribution, however, summer drought increase will trigger higher susceptibility to diseases and mortality, and may cause local extinctions and shifts of distribution area. Extreme selection may narrow genetic variation and cause decline of stability, key attributes to withstand environmental changes. Results confirm that the prudent use of regional differentiation in genetic diversity and stability may provide possibilities for alleviating climate change risks and increase the fitness of next generations. The presented policy principles of adaptive management are based on results of the FORGER project, and were published as Policy Brief (Mátyás and Kramer 2016).

Keywords: adaptation, genetic diversity, adaptive management, provenance test, dynamic modeling



1. ábra: A Francia Alpokban, elterjedési területe déli határán, a jegenyefenyő széles körű pusztulást mutat (elszürkült fák) a 2003. évi szélsőséges aszályok következményeként (fotó: B. Fady, INRA)

Figure 1: In the French Alps, at its southern range limit, European silver fir (*Abies alba* L.) shows widespread mortality (grey trees) after the extreme drought of 2003 (photo courtesy B. Fady, INRA)

BEVEZETÉS

A „FORGER - Alkalmazkodó gazdálkodás az erdőkkel és génkészletünkkel a klímaváltozás fényében” című projektben, a holland Alterra Intézet koordinálása mellett, 8 európai kutatóhely (BFW, Ausztria, von Thünen Institut, Németország, INRA, Franciaország, METLA, Finnország, NymE, Sopron, Bioersity International és CNR, Olaszország, Bydgoszcz-i Egyetem, Lengyelország) vett részt. A 4 éves projektet az Európai Bizottság finanszírozta a 7. keretprogram keretében. Az 5 nagyobb munkafeladat közül az itt tárgyalt témát Mátyás Csaba koordinálta. Ellentétben azzal az elterjedt véleménnyel, amely a szélsőséges változáshoz alkalmazkodást fajokcsere révén képzelel megvalósíthatónak, a munkahipotézis abból indult ki, hogy *a fajokon belüli, populációk között tapasztalható genetikai különbségek kiaknázása egy ökológiailag kíméletesebb – bár kétségtelen korlátos – alkalmazkodási lehetőséget kínál*. A kutatás során négy modell faj (erdei- és lucfenyő, bükk és kocsánytalan tölgy) származási kísérleteit elemeztük. Emellett, elsősorban bükk fafajon, dinamikus állomány-modellek segítségével is vizsgáltuk a klímateretők változásának hatását a génkészletre és a növekedés alakulására (Kramer és mtsai 2010). A kapott eredmények elemzése alapján szakpolitikai ajánlásokat fogalmaztunk meg az európai szakpolitikusok, döntéshozók részére. Az anyag a klímaváltozáshoz alkalmazkodás tekintetében a fajok génkészletében tapasztalható különbségek kiaknázásának lehetőségeit tárgyalja. Az itt ismertetett rövid szakpolitikai tájékoztatót (Policy Brief) a FORGER program keretében publikáltuk (Mátyás és Kramer 2016).



2. ábra: Példa a klimatikus alkalmazkodás által kiváltott növekedési és megmaradási különbségekre egy erdeifenyő kísérletben, a Kámoni Arborétumban. A melegebb klímában a kelet-szibériai (Ajan-i) származás teljes egészében kipusztult (kijelölt parcella); a török hegyvidéki populáció (Catacik, az előtérben) gyenge alkalmazkodottságot, míg a legjobb magyar származás (Pomóapáti, a háttérben) erőteljes növekedést mutat (fotó: Mátyás Cs. 2002)

Figure 2: Growth and survival of trees depends on how their climate adaptation matches actual conditions. At the mild-continental Scots pine test site in Hungary, no trees from East Siberia survived (marked plot), the Turkish trees were maladapted (foreground), whereas the local, Hungarian provenance trees thrived well (back right) (photo Cs. Mátyás)

ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

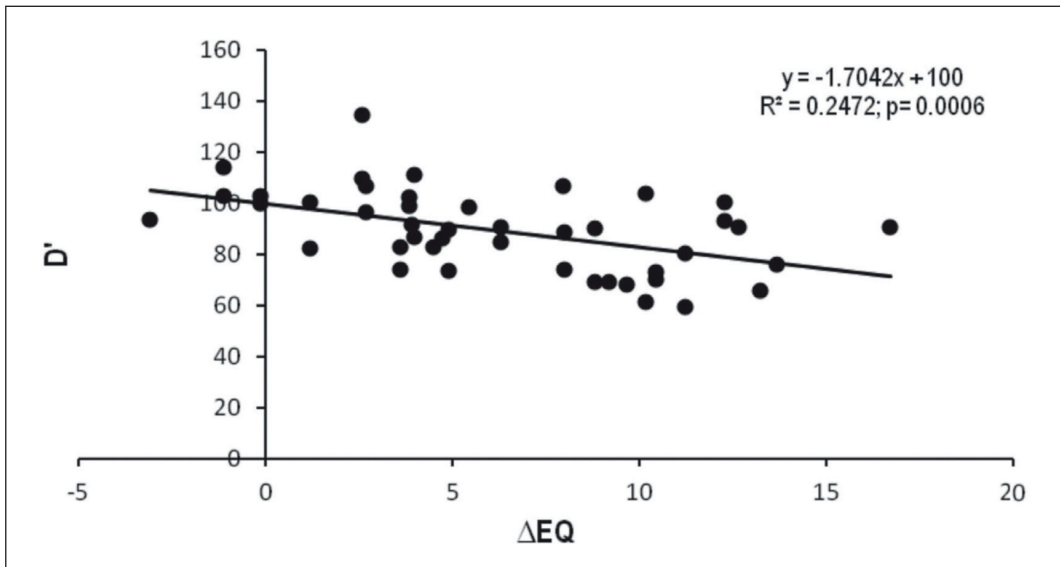
Terepi vizsgálatok származási kísérletekben

A FORGER projekt egyik megválaszolandó alapkérdése volt, hogy az európai erdőket domináló fő fajok milyen alkalmazkodóképességgel rendelkeznek az előrevetített klímaváltozásokkal szemben. A kutatás a várható válaszreakciókat négy modell fajon elemezte, ezek a lucfenyő, erdeifenyő, bükk és kocsánytalan tölgy voltak. A vizsgálatok elsősorban hosszú lejáratú terepi kísérletekben folytak.

Az erdészeti nemesítési kutatások általánosan alkalmazott kísérlet típusa a származási kísérlet, amikor különböző eredetű populációk teljesítményét eltérő termőhelyi és klimatikus feltételek között létrehozott közös tenyészterekben vizsgálják. Ha a populációkat eredeti alkalmazkodottságuktól eltérő éghajlati körülmények közé telepítjük, tulajdonképpen a klímaváltozás hatását szimuláljuk. A kísérletekben a származási hely és a telepítési helyszín klimatikus különbségével jellemeztük a populáció számára jelentkező klímaváltozási stressz mértékét. A bükk esetében pl. az alkalmazott klímátényező az Ellenberg aszályindex különbsége volt (3. és 5. ábrán). A kapott válaszreakciók modellezése révén a fajok klímaváltozás esetén várható viselkedése előrebecsülhető (Mátyás 1996). A kutatás során kísérletet tettünk a fajspecifikus tolerancia határainak a megállapítására is, amelyen túl hatékony gazdálkodás nem folytatható (Mátyás 2016b).

Modellező vizsgálatok

A FORGER projekt keretében virtuális erdőállományokon modelleztük a növekedési ütemet, a felújítási dinamikát és az ökoszisztéma működését, továbbá a genetikai folyamatokat is (Kramer és mtsai 2008). Az újonnan fejlesztett modell lehetővé teszi a klímaváltozásra adott válaszreakciók és a genetikai diverzitás változás prognosztizálását, ezeken keresztül az erdőállomány növekedésének, gyérülésének előrebecslését. A modellel a klímaváltozáshoz alkalmazkodó erdőművelési beavatkozások hatékonysága is vizsgálható.



3. ábra: Az alkalmazkodottsági hiány miatt fellépő növekedéscsökkenést leíró "áttelepítési függvény" a különböző klímákhoz alkalmazkodott bükk származások válaszreakcióját mutatja, a 15 éves kori átmérő százalékos változásában (D'). A klímaváltozás mértékét az Ellenberg aszályindex változása (ΔEQ) jelzi. Viszonyítási alap a helyi populáció átlagos átmérője, vagyis nulla változás esetén 100% (bükk származási kísérlet, Bucsuta, Horváth és Mátyás 2014)

Figure 3: Increment decline caused by sub-optimal adaptation. The "transfer function" defines the decline in percents of the mean diameter of the locally adapted provenance (D'). Climate change undergone by the population is expressed by the change of Ellenberg's drought index (ΔEQ). Data of a beech provenance test in Bucsuta, Hungary (Horváth and Mátyás 2014)

EREDMÉNYEK

A négy modell fajaj elemzése alapján az alábbi általános megállapítások tehetők:

- A származások¹ között tapasztalt növekedési különbségek jelentős részét az eredeti helyszín klímájához történt alkalmazkodás határozza meg, amely a klímaternyezőik által kiváltott, sok generációs szelektív hatás következménye.
- A növekedési ráta mellett a klimatikus alkalmazkodottságot más tulajdonságok is jelzik, mint például a rügyfakadás időzítése vagy a vízfelhasználás hatékonysága.

¹Származás alatt az ismert, ill. azonosított eredetű populációt értjük

- A válaszreakciók elemzése során megállapítható volt, hogy a helyi (őshonos) származások jobb teljesítménye nem minden esetben valósul meg.
- A szélsőséges klimatikus hatásokkal szembeni, faji tolerancia korlátai genetikailag meghatározottak.
- Extrém aszályok esetén a populáció vitalitása lecsökken, különösen a szárazsági határ környékén, és tömeges pusztulás léphet fel (a szárazsági határ a faji elterjedésének alsó, azaz alacsony tengerszint feletti, déli határa, ahol a vízellátás a fő korlátozó ökológiai tényező).
- A populációk általában 2–3 generáció alatt bizonyos mértékű alkalmazkodásra képesek, bár ennek mértéke valószínű nem lesz elegendő a várható gyors klimatikus változások kiegyenlítésére.
- A szárazsági (alsó) határ közelében az erőteljes szelekciós hatás miatt, mind az idősebb populációkban, mind az újjalban erőteljesebb öngyérülés (mortalitás) alakul ki, ami a genetikai diverzitás csökkenésével jár. A diverzitásvesztés szélsőséges termőhelyen különösen erősen manifesztálódik, ezt a hatást azonban – amennyiben ehhez a feltételek megvannak – a távolabbi területekről érkező génáramlás tompíthatja.
- A modellezés eredményei szerint, az északi, illetve hegyvidéki termikus határ² mentén, ahol a klimatikus változások a korlátozó feltételek (pl. korai fagyok) enyhülését váltják ki, a távoli eredetű génáramlás ronthat a populációk alkalmazkodottságán, mivel kevésbé alkalmas géntípusokat hozhat.

Válaszok néhány fontos kérdésre

Hogyan reagálnak erdeink a várható klímaváltozásra?

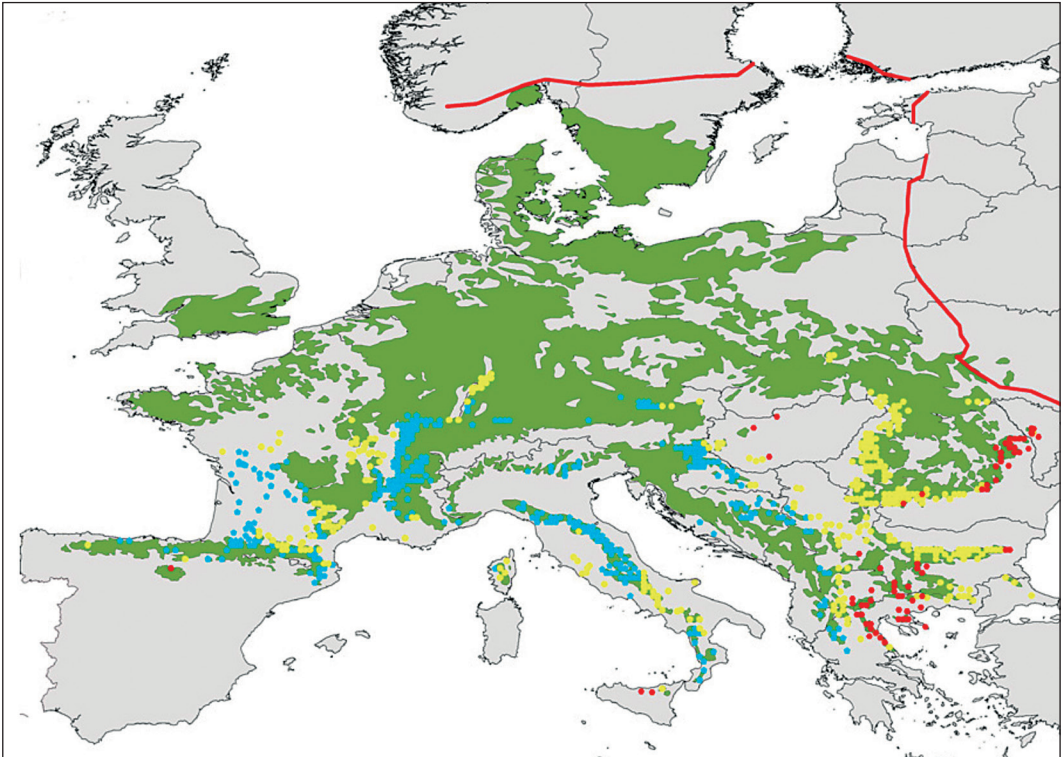
A melegedés a vegetációs idő meghosszabbodásával jár és ez elvileg a növekedés gyorsulását eredményezhetné. A melegebb és szárazabb időjárás azonban a szárazsági határ közelében a növekedés és a vitalitás visszaesésével jár, és ebben a CO₂ koncentráció várható növekedése, eddigi kutatások szerint, komolyabb kiegyenlítő szerepet nem játszik. A genetikailag meghatározott szárazsági toleranciaküszöbhez közeledve az öröklött alkalmazkodóképesség lecsökken és az öngyérülés erőteljesen fokozódik.

Van-e szerepe a szaporítóanyagnak a klímaváltozáshoz alkalmazkodó gazdálkodásban?

A klímaváltozás hatásának mérséklésében a szaporítóanyag megválasztásának a szerepe attól függ, hogy van-e tapasztalatunk arról, hogy az adott termőhelyen a fafaj elegendő alkalmazkodó képességgel rendelkezik-e, vagy pedig aktív beavatkozásra, más szaporítóanyag alkalmazására van-e szükség. Ezzel a kérdéssel részletesebben a gyakorlati javaslatok (Mátyás 2016a ill. magyarul 2016b) foglalkoznak.

Az EU jelenlegi erdészeti szaporítóanyag szabályai nem foglalkoznak az alkalmazkodóképesség javítását szolgáló *támogatott génáramlással és a támogatott fajvándorlással (human-assisted gene flow és human-assisted migration vagy transfer)*. Előbbi esetében toleránsabb, szárazabb klímához alkalmazkodott, de azonos fajú származások áttelepítéséről van szó, míg a támogatott fajvándorlás klímataleránsabb faj alkalmazását jelenti. Figyelemmel arra, hogy a klímaváltozás problémája a jövőben is velünk marad, és a következő erdőgenerációt is érinteni fogja, a megfelelő szaporítóanyag, illetőleg a fafaj és a felújítási technológia megválasztása központi kérdés.

²A szárazsági határral szemben az elterjedés termikus határa ott húzódik, ahol a hőmérséklet képviseli a korlátozó ökológiai tényezőt (minimum hőmérséklet, hőösszeg stb.)



4. ábra: A bükk klimatikus veszélyeztetettsége a következő évtizedekben, mérsékelt klímaváltozási scenárió mellett. Jelmagyarázat: zöld: nem érintett előfordulások; kék: a következő 3–4 évtizedben, sárga: a következő 1–2 évtizedben, piros: már jelenleg veszélyeztetett előfordulások Európában. A piros vonal a bükk számára 3–4 évtizeden belül megfelelő hőmérsékleti határt jelzi (terv: Mátyás és Rasztovits)

Figure 4: Estimated climatic threats to beech for the next decades, based on projections for moderate climate change.

Legend: green: unaffected occurrences; blue: threatened in the next 3–4 decades; yellow: threatened in 1–2 decades; red: presently threatened occurrences. Red line: approximate upper (thermic) limit of climate favourable for beech in 3–4 decades (design: Mátyás and Rasztovits; Mátyás 2016)

A helyi származású szaporítóanyag jobb, mint a támogatott migráció révén áttelepített?

A legtöbb faj esetében kijelenthetjük, hogy a populációkon belül nagymértékű genetikai változatosság mutatható ki. Ez jelentős alkalmazkodási potenciált feltételez változó klímafeltételek mellett is – amennyiben optimális a termőhely. A szárazsági határhoz közeledve az alkalmazkodóképesség gyengülhet az erősödő szárazsági stressz miatt.

A származási kísérletekben gyakorta megfigyelhető, hogy idegen származások jobb vagy legalábbis hasonló teljesítményt nyújtanak, mint az őshonosak. A jelenségnek többféle oka lehet, így különböző genetikai folyamatok egyidejű érvényesülése, a kívülről jövő génáramlás és más genetikai hatások. Ez a tapasztalat arra utal, hogy a megfelelő szaporítóanyag kiválasztására többféle lehetőség van, ezek között a támogatott migráció is felmerülhet. Fontos azonban, hogy a szaporítóanyag eredetét minden esetben rögzítsük.



5. ábra: 10 éves bükk származások növekedése és habitusa egy kontinentális helyszínen (Bucsuta, Zala m.). Balról Magyarereggy (Mecsek, ΔEQ : 2.57), átlagmagassága 3,13 m; jobbról az atlanti Soignes (Belgium ΔEQ : 7.97), átlagmagassága 2,62 m.

A ΔEQ aszályindex változás a klimatikus stressz mértékét jelzi (fotó: Mátyás Cs.)

Figure 5: Difference in growth and branching of two provenances of 10 year old beeches in a continental environment (test site Bucsuta, Hungary). Left: provenance Magyarereggy (Hungary, ΔEQ : 2.57), aver. height 3.13 m; right: Atlantic provenance Soignes (Belgium, ΔEQ : 7.97), aver. height 2.62 m. The change of drought index value (ΔEQ) indicates the intensity of climatic stress (photo Cs. Mátyás)

Milyen tulajdonságokra kell ügyelni a szaporítóanyag kiválasztásakor?

Az erőteljes növekedés és a biotikus/abiotikus károsításokkal szembeni tolerancia mellett fontos lenne a stabilitás (plaszticitás) ismerete – vagyis, hogy a populáció termőhelytűrése eltérő feltételek között is megbízható, azaz széles termőhely igényű. Ez a tulajdonság alaposabb kutatást, vizsgálatot érdemel. A modell fafajok közül az erdei- és lucfenyő különböző származásai szignifikánsan eltérő termőhelytűrést mutatattak, stabilitásuk általában kisebb volt, mint a bükk és kocsánytalan tölgy származásoké, amelyek a FORGER kísérletekben nagyon eltérő termőhelyi feltételek mellett is kisebb vitalitás-ingadozást mutattak.

Néhány javaslat az alkalmazkodó erdőgazdálkodás számára

A kutatási eredmények alapján az alábbi általános javaslatok tehetők az erdészeti genetikai erőforrások védelme és a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás elősegítése érdekében.

- A jelenleg érvényes országos és nemzetközi szaporítóanyag felhasználási előírásokat, szabályokat az újabb tapasztalatok alapján felül kell vizsgálni.
- A széles termőhelytűrés, azaz stabilitás a szaporítóanyag kiválasztása szempontjából fontos tulajdonság és az eddigieknél több figyelmet igényel.

- A származási forrás kiválasztásánál a fiatalkori növekedés mellett figyelmet kell szentelni a klimatikus szélsőségekkel, károsítókkal szembeni toleranciának is.
- A gondos erdőművelési, felújítási gyakorlat a pozitív szelekció révén felgyorsítja a genetikai alkalmazkodást (adaptációt). Ehhez a gyorsabb generációváltás révén a vágásforduló rövidítése is hozzájárul.
- A természetközeli állapotban hagyott állományokban magasabb genetikai diverzitás marad, mint ha aktívan beavatkozik az erdőművelő. Azonban az alkalmazkodás feltételei, elsősorban annak gyorsasága, természetközeli gazdálkodás mellett kedvezőtlenebbek. Ennek az az oka, hogy a jobban magára hagyott erdőállományban a szelekciós események – időegységre számítva – ritkábbak.
- A klímateránsabb, idegen eredetű szaporítóanyag támogatott áttelepítése segíthet az egészséges és produktív erdőállományok hosszú távú fenntartásában. Számításba jöhet azonos fajú, de a jövőbeni viszonyokhoz előalkalmazkodott szaporítóanyag források felhasználása (támogatott génmáramlás), illetőleg extrém esetben klímateráns fajok alkalmazása (támogatott migráció).
- A támogatott áttelepítés szélesebb körű alkalmazása esetén is célszerű fenntartani természetes állapotú állományokat egyes helyeken, ahol a természetes szelekció működhet.
- Mind a veszélyeztetettség mértéke, mind pedig a szaporítóanyag-forrásként felhasználható erdőállományok potenciálisan értékes génkészlete miatt, különös figyelmet kell szentelni az elterjedési terület alsó, szárazsági szegélyén található populációk feltárására, védelmére, és szükség esetén aktív megőrzésére (archiválására, evakuálására) is.
- Az alkalmazkodó gazdálkodás számára pótolhatatlan információt szolgáltatnak a származási kísérletek. Mivel a meglévő kísérleteket eredetileg nem a klímaváltozás hatásainak vizsgálatára telepítették, ezért új kísérleteket kell telepíteni, amelyek a klímadaptáció specifikus szempontjait figyelembe veszik.

Az ismertetett eredmények és javaslatok alkalmazásához elengedhetetlen a szakmai hozzáértés és a helyi tapasztalat, amit a hosszú lejáratú terepi kísérletek eredményei és az előrevetített klímafeltételek ismerete egészíthetnek ki.

HIVATKOZÁS A FORRÁSANYAGRA

A „FORGER – Az erdők és génkészletük alkalmazkodó hasznosítása a klímaváltozás fényében” című EU projekt zárójelentése alapján készült egy szakpolitikai tájékoztató (Policy Brief), amely 2016-ban került kiadásra és európai terjesztésre (Mátyás – Kramer 2016). Az ebből készült fordítást a téma hazai aktualitása miatt adjuk közre. Az anyag döntően magyarországi eredményeken és tapasztalatokon alapszik, de EU-s felhasználásra készült, ezért nem tartalmaz konkrét, gyakorlati felhasználásra alkalmas adatokat. A szaporítóanyag megválasztására vonatkozó elvek konkrétabb részletei ugyancsak a FORGER projekt keretében elkészült Irányelvekben (Guidelines, Mátyás 2016a ill. magyarul: 2016b) találhatóak. A projekt honlapja további információkat szolgáltat a kutatómunkáról és az eredményekről (www.fp7-forger.eu).

A 2014-ben elindult „Agrárklíma.2” klímaváltozási projekt keretében előirányoztuk egy, a szakpolitika módosítását és a helyi gazdálkodást segítő döntéstámogató rendszer kialakítását. Részeredmények, információk már most is hozzáférhetők a NAIK-ERTI portálján (www.ertigis.hu). Nyolc projekt partner, de elsősorban a NyME Erdőmérnöki Kara és a NAIK-ERTI együttműködésében, várhatóan 2016 végére elkészül a tervezett döntéstámogató rendszer első, egyszerűsített verziója, amelyben a klímaváltozásra készülési jegyében, az erdőfelújításra, a faj- és szaporítóanyag választás problémáira tájékoztató adatok és információk fognak rendelkezésre állni.

ACKNOWLEDGEMENT – KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

The paper is a translated version of the cited Policy Brief (Mátyás and Kramer 2016), based on the results of the FORGER project. The Policy Brief and other documents as well as information on the project are available on the FORGER homepage (www.fp7-forger.eu). The support of the financing body (EU Commission under the 7th Framework Programme), of the cooperating partners (coordination: K. Kramer, Alterra, NL) and of Biodiversity International (Rome) is gratefully acknowledged.



HIVATKOZOTT IRODALOM

- Horváth A. és Mátyás Cs. 2014: Növedécsökkenés előrevetítése egy bükk származási kísérlet alapján. Erdészettudományi Közlemények, 4: 2, 91-99.
- Kramer, K.; Degen, B.; Buschbom, J.; Hickler, T.; Thuiller, W.; Sykes, M.T. et al. 2010: Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change—Range, abundance, genetic diversity and adaptive response. Forest Ecology and Management, 259 (11): 2213-2222. DOI: [10.1016/j.foreco.2009.12.023](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.023)
- Mátyás, Cs. 1996: Climatic adaptation of trees: Rediscovering provenance tests. Euphytica, 92: (1-2) 45-54, DOI: [10.1007/BF00022827](https://doi.org/10.1007/BF00022827)
- Mátyás Cs. 2002: Erdészeti-természetvédelmi genetika. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Mátyás, Cs. 2016a: Recommendations for the choice of forest reproductive material in the face of climate change. FORGER Guidelines 2016, Biodiversity International, Rome, © Mátyás Csaba
- Mátyás Cs. 2016b: Javaslatok az erdészeti szaporítóanyag megválasztásához a klímaváltozás fényében (a FORGER projekt eredményei alapján). Erdészeti Lapok, 151 (3): 78-82.
- Mátyás, Cs. and Kramer, K. 2016: Climate change affects forest genetic resources: consequences for adaptive management. FORGER Policy Brief 2016. Biodiversity International, Rome, © Mátyás Csaba

További fontosabb irodalom, különös tekintettel a hazai, közvetlen kutatási előzményekre

- Borovics A.; Nagy L.; Cseke K.; Bordács S. és Mátyás Cs. 2013: Genetikai monitoring: az evolúciós változások finom léptékű ellenőrzése. In: Faragó S. (szerk.): Monitoring az erdészetben és vadgazdálkodásban. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 53-60.
- Fares, S.; Mugnozza, G.S.; Corona, P. and Palahi, M. 2015: Sustainability: Five steps for managing Europe's forests. Nature, 519 (7544): 407-409. DOI: [10.1038/519407a](https://doi.org/10.1038/519407a)
- Gálos B.; Mátyás Cs. and Jacob, D. 2011: Regional characteristics of climate change altering effects of afforestation. Environmental Research Letters, 6 (4): 1-9, Nr. 044010. DOI: [10.1088/1748-9326/6/4/044010](https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/044010)
- Gálos B.; Mátyás Cs. és Jacob D. 2012: Az erdőtelepítés szerepe a klímaváltozás hatásának mérsékelésében. Erdészettudományi Közlemények, 2 (1): 35-45.
- Konnert, M.; Fady, B.; Gömöry, D.; A'Hara, S.; Wolter, F.; Ducci, F.; Koskela, J.; Bozzano, M.; Maaten, T. and Kowalczyk, J. 2015: Use and transfer of forest reproductive material in Europe in the context of climate change. European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN), Biodiversity International, Rome, xvi and 75 p.

- Kramer, K. 2007: Resilience of European forests: towards a non-equilibrium view for the management of diversity. In: Koskela J.; Buck, A. and A. Teissier. du Cros (eds): Climate Change and Forest Genetic Diversity: implications for sustainable forest management in Europe. Biodiversity International, Rome, Italy, 43-52.
- Kramer, K.; Buiteveld, J.; Forstreuter, M.; Geburek, T.; Leonardi, S.; Menozzi, P. et al. 2008: Bridging the gap between ecophysiological and genetic knowledge to assess the adaptive potential of European beech. Ecological Modelling, 216 (3-4): 333-353. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2008.05.004](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.05.004)
- Lefèvre, F.; Boivin, T.; Bontemps, A.; Courbet, F.; Davi, H.; Durand-Gillmann, M. et al. 2013: Considering evolutionary processes in adaptive forestry. Annales of Forest Science, 71 (7): 723-739.
- Lindner, M.; Maroschek, M.; Netherer, S.; Kremer, A.; Barbat, A.; Garcia-Gonzalo, J. et al. 2010: Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. Forest Ecology and Management, 259 (4): 698-709. DOI: [10.1016/j.foreco.2009.09.023](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023)
- Mátyás, Cs. 2010: Forecasts needed for retreating forests (Opinion). Nature, 464:(7293) 1271. DOI: [10.1038/4641271a](https://doi.org/10.1038/4641271a)
- Mátyás Cs. 2011: Elegendő a természetre bízni a jövőt? Erdészeti Lapok, 146: (5) 140-141.
- Mátyás, Cs. (ed) 2010: Forests and Climate Change in Eastern Europe and Central Asia. Forests and Climate Change Working Paper Nr. 8, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome
- Mátyás, Cs.; Berki, I.; Czúcz, B.; Gálos, B.; Móricz, N. and Rasztoivits, E. 2010: Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica, 6: 91-110.
- Mátyás Cs.; Führer E.; Berki I.; Csóka Gy.; Drüszler Á.; Lakatos F.; Móricz N.; Rasztoivics E.; Somogyi Z.; Veperdi G.; Vig P. és Gálos B. 2010: Erdők a szárazsági határon. Klíma 21 füzetek, 61: 84-97.
- Mátyás Cs. és Gálos B. 2010: Erdőgazdálkodás és klimatikus szélsőségek: problémák és feladatok. Klíma 21 füzetek, 63: 25-32.
- Mátyás, Cs.; Sun, G. and Zhang, Y. 2013: Afforestation and forests at the dryland edges: lessons learned and future outlooks. In: Chen, J.; Wan, S.; Henebry, G.; Qi, J.; Gutman, G.; Sun, G. and Kappas, M. (eds): Dryland East Asia: Land dynamics amid social and climate change. HEP Publishers, Beijing & Walter de Gruyter and Co., Berlin, 245-264. DOI: [10.1515/9783110287912.245](https://doi.org/10.1515/9783110287912.245)
- Mátyás, Cs. and Sun, G. 2014: Forests in a water limited world under climate change. Environmental Research Letters, 9 Nr. 085001 DOI: [10.1088/1748-9326/9/8/085001](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/085001)
- Rasztoivits, E.; Móricz, N.; Berki, I.; Pötzelsberger, E. and Mátyás, Cs. 2012: Evaluating the performance of stochastic distribution models for European beech at low-elevation xeric limits. Időjárás, 116:(3) 173-194.

Érkezett: 2016. február 22.

Közlésre elfogadva: 2016. szeptember 27.