

A KLÍMAVÁLTOZÁS FATERMÉSRE GYAKOROLT VÁRHATÓ HATÁSÁNAK BECSLÉSE AZ AGRATÉR PROJEKTBEN

Illés Gábor és Fonyó Tamás

NAIK Erdészeti Tudományos Intézet

Kivonat

A klímaváltozás ténye világ és Európa szerte – így hazánkban is – egyaránt cselekvésre sarkallja a politikai, a szociális, a gazdasági és a tudományos élet szereplőit. Az AGRATÉR projekt a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer kialakítása során többek között arra vállalkozott, hogy megbecsülje a klímaváltozás várható fatermőképességre gyakorolt hatását. A vizsgálatok során a CarpatClim-Hu történeti meteorológiai adatbázis, továbbá az ALADIN és RegCM klímamodellek hazánkra készült becslései alapján értékeltük az erdészeti klímakategóriák területi elterjedésének változását. A fatermési adatokat az 1960-as évek elején, az úgynevezett bázisidőszakban létrejött jelenlegi VI. korosztály, illetve az 1990-es évek elején létrejött jelenlegi III. korosztály adatai szolgáltatták. Az 1961–1990, illetve az 1991–2010 időablakok közötti klimatikus változások, és a két időablakban keletkezett faállományok fatermése közötti különbségek értékelhetők. Az átlagos statisztikai különbségek projekciójával termőhelytípusonként adtunk becslést a fatermés változására a 2021–2050 és a 2071–2100 időablakokra vonatkozóan a klímamodellek által megadott klimatikus feltételek mellett. Az eredmények azt mutatták, hogy eltérő mértékben ugyan, de mindegyik jelentősebb fafajunk esetében várhatóan kedvezőtlenebbé válnak a fatermőképességi mutatók.

Kulcsszavak: klímaváltozás, fatermésváltozás, klímahatás vizsgálat

ASSESSING THE EXPECTED IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON FOREST YIELD POTENTIAL IN THE AGRAGIS PROJECT

Abstract

Climate change requires actions from political, social, economic, and scientific stakeholders. The AGRAGIS project during the development of National Adaptation Geo-information System aimed to assess the climate change induced potential impacts on yield conditions of forests. During the project on the basis of the historical meteorological database of the country (CarpatClim-Hu), and using the ALADIN and RegCM regional climate models we have assessed the expected forest climate zone shifts in Hungary. Yield data of forests as a baseline came from forest stands that were established in the early 1960s, which are being now the 6th age-class. Yield data for forests under changed conditions came from forest stands that were established in the early 1990s, which are being now the 3rd age-class. Climate change facts between the periods of 1961–1990 and 1991–2010 can be statistically evaluated in this way together with yield changes of forest stands. By the projection of average statistical differences according to site we can assess the expected changes in yield potential for future time windows of 2021–2050 and 2071–2100. Results showed that a drop is expected for all major species' yield potential to different extent under future climate conditions.

Keywords: climate change, yield change, climate change impact assessment

Levelező szerző/Correspondence:

Illés Gábor, 9600 Sárvár, Várkerület 30/A; e-mail: illesg@erti.hu

BEVEZETÉS

A klímaváltozás mindenkit, a társadalom egészét, a természeti és gazdasági rendszerek mindegyikét, így az agráriumot is érintő jelenség. Mindenkire és mindenre van és lesz hatása, ezért mindenkitől, legyen akár egyén, akár kontinensnyi ország alkalmazkodási stratégiát és az alkalmazkodást segítő cselekvést követel meg (Easterling és mtsai 2007).

Magyarországon az alkalmazkodást segíteni és a várható hatásokat csökkenteni hivatott döntések meghozatalát támogató szervezet, a Nemzeti Alkalmazkodási Központ (NAK). A NAK koordinálta több más projekt között az izlandi, lichteinsteini és norvég támogatásból (EGT finanszírozási mechanizmus) finanszírozott, a Regionális Környezetvédelmi Központ (REC) által felügyelt, 1,6 millió eurós projektet, mely a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) létrehozására irányult.

A NATÉR létrehozását célzó projekt részeként a NAIK Erdészeti Tudományos Intézete, az Agrárgazdasági Kutatóintézet, és az MTA Ökológiai Kutatóközpont részvételével, valamint az MTA Agrártudományi Kutatóközpont vezetésével létrehozott egy konzorciumot, melynek célja volt a NATÉR kiterjesztése az agrár- és erdészeti szektorra (www.agrater.hu).

A NAIK ERTI feladata a projektben az volt, hogy az 1. ábrán látható CIVAS modell (Climate Impact and Vulnerability Assessment Scheme) alapján (IPCC, 2007), a rendelkezésre álló adatok felhasználásával mérje fel a klímaváltozás várható hatását az erdőgazdálkodásra a 8 legjelentősebb fafaj, ill. fafajcsoport tekintetében (akác – A; bükk – B; csertölgy – CS; erdeifenyő – EF; feketefenyő – FF; kocsánytalan tölgy – KTT; kocsányos tölgy – KST; nemes nyárok – NNY), továbbá becslést adjon az erdőterületek sérülékenységre vonatkozóan. Jelen tanulmányban klímaváltozás fatermesre gyakorolt várható hatásának vizsgálatát mutatjuk be.

Több hazai és nemzetközi tanulmány is foglalkozott az erdők és a klímaváltozás kapcsolatával, valamint a klímaváltozás erdőkre és erdőgazdálkodásra gyakorolt hatásával (Mátyás 2006; Mátyás és mtsai 2010). Ezek közül átfogó és szintetizáló jellege miatt mindenképpen érdemes kiemelni az IPCC jelentéseket, melyek közül legújabban az 5. jelentés 4. fejezete foglalkozik részletesebben a szárazföldi ökoszisztémákat – és köztük az erdőket – érő hatásokkal, sérülékenységgükkel és alkalmazkodóképességüket meghatározó jellemzőkkel (Settele és mtsai 2014). A jelentés a legkiemelkedőbb kockázatok között említi a szárazföldi széntárolási kapacitás csökkenését, a mortalitás emelkedését és az erdőterület csökkenést, valamint az invazív, idegenhonos fajok előretörését.

Amíg a 2000-es évek elején több cikk is megjelent az erdei faállományok növekedési ütemének emelkedéséről (Spiecker 1999), addig jelenleg növekedéscsökkenésről és megemelkedett mortalitási rátáról adnak hírt (Allen és mtsai 2010; Anderegg és mtsai 2015; Luo és Chen 2015) leginkább, az aszályosság mértékének emelkedése miatt. Mindezek mellett, illetve az előbbieket erősítve erdeinkben fokozódik új károsítók megjelenésével a biotikus stressz, amit az egyre gyakoribb rendkívüli időjárási helyzetek súlyosbítanak (Yvette ciklon, jégtörések) (Bartholy és Pongrácz 2010; Spinoni és mtsai, 2015a; Szépszó és mtsai 2014). Ezekhez a hatásokhoz járul még több, elterjedési határhelyzetben lévő fafajunk esetében az area eltolódás kedvezőtlen hatása (Hlásny és mtsai 2014; Mátyás és Sun 2014). Habár a rendkívüli időjárási események predikciójára nem vállalozhatunk, a trendszerű változásokat a fatermőképességben megkíséreljük kimutatni és előrevetíteni összhangban a rendelkezésre álló klímamodell szimulációk eredményeivel (Hlásny és mtsai 2011; Somogyi 2008).

ANYAG ÉS MÓDSZER

Klimatikus adatok

A vizsgálatokhoz használt klímaadatok egyfelől a havi bontású CarpatClim-Hu adatállomány történeti adatsorai az 1961–2010 közötti időszakból, melyet a NATÉR adatrendszeréből értünk el (Spinoni és mtsai 2015b). Havi átlaghőmérséklet és csapadékösszeg adatokból dolgoztunk az országot lefedő 1104 rácsponti adat felhasználásával. Egy pont kb. 8400 ha-t reprezentál, nagyjából $8,5 \times 10$ km-es cellákban. Ezt az adatállományt két részre bontottuk. Külön kezeltük az 1961–1990 időszak adatait, mint az ún. bázisidőszakot reprezentáló 30 évet. Emellett külön időszakként kezeltük az 1991–2010 közötti 20 éves időszakot, mint amelyben már érvényesülnek a klímaváltozás hatásai amelyeket számszerűsíteni igyekszünk. Emellett fel tudtunk használni két klímamodellt, amelyek a jövőben várható klímaváltozás jellemzésére szolgáltak. Ezek voltak a Magyarországra adaptált regionális klímamodellek az ALADIN és a RegCM (J Bartholy és mtsai 2010; Horányi és mtsai 2011). E modellek két jövőbeli időablakra adnak becsléseket a várható klímamutatók tekintetében az A1B kibocsátási forgatókönyvet alkalmazva, a 2021–2050, illetve a 2071–2100 időszakokra.

A klimatikus paraméterekből azonban első lépésben a CIVAS modellnek megfelelően, olyan indikátort kell képezni, amely erdők esetében a klímaváltozás miatti kitétség (exposure) változását mérhetővé teszi (1. ábra).

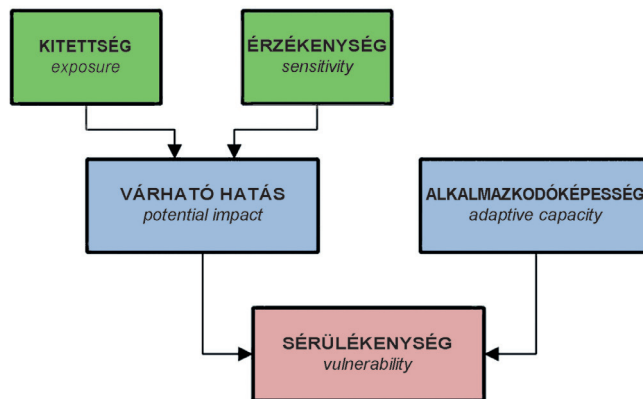
Olyan kitétség indikátort választottunk, ami a meglévő adatsorokból is előállítható volt és bizonyítható összefüggésben van az erdőterületek fatermési tulajdonságaival. Így végül a 2011-ben Führer és munkatársai által bevezetett FAI értéket választottuk kitétség indikátornak (Führer és mtsai 2011).

Vizsgálatainkban úgy jártunk el, hogy elfogadtuk a FAI értékeinek szerzők által javasolt kategorizálását, amellyel a hosszútávon ható klimatikus feltételeket megfeleltetik az erdészeti gyakorlatban használatos erdőklíma besorolásoknak. Így módon lehetőségünk volt a bázis időszakban jellemző klimatikus feltételeket, illetve az előrejelített két jövőbeli időablakban jellemző klimatikus feltételeket megfeleltetni az erdészeti klímátípusoknak (Mátyás 1996).

A vizsgálatokban a klímátípusokat és meghatározó FAI értékeit számokkal jelöltük:

- 1 – bükkös klíma (B) $4,75 \leq \text{FAI}$;
- 2 – gyertyános-tölgyes klíma (GYT) $4,75 < \text{FAI} \leq 6,00$;
- 3 – cseres, ill. kocsánytalan tölgyes klíma (CST) $6,00 < \text{FAI} \leq 7,25$;
- 4 – erdősztyepp klíma (ESZTY) $7,25 < \text{FAI}$.

A klímátípusok eltolódása jól jellemzi a klimatikus kitétség változását. Ezért a kitétség térképek előállításakor azt ábráztuk, hogy egy adott területen az erdőklíma várhatóan hogyan változik (2. ábra). A térképeken a jelkulcs ezért az eltolódást adja meg a RegCM és az ALADIN modellek alapján. Például a 11-es kód azt jelenti, hogy a területen a klímátípus bükkös volt és bükkös maradt, míg a 34-es kód azt jelenti, hogy a klímátípus cseres, ill. kocsánytalan tölgyes volt és erdősztyepp lett. A változásokat mindig két szomszédos időablak között kell érteni, vagyis pl.: az 2021–2050 közötti időszak 30 éves előrejelzett átlaga és a 2071–2100 közötti előrejelzett 30 év átlaga közötti különbség.



1. ábra: A klímaváltozással szembeni sérülékenységelemzés elvi felépítése (CIVAS modell)
Figure 1: Climate Impact and Vulnerability Assessment Scheme

A faállományt jellemző adatok

Mérlegelések és tesztvizsgálatok után arra jutottunk, hogy a fatermési osztály alkalmas legjobban jelen esetben a várható hatás indikációjára, mert segítségével kortól függetlenül össze lehet hasonlítani ugyanazon faj esetében a különböző termőhelyi csoportokat. Másfelől ez a változó jól beleivódott az erdőgazdasági szemléletbe és a későbbiekben ezek alapján ökonómiai modellek is illeszthetők a jelenlegi becslésekhez.

A továbbiakban úgy jártunk el, hogy a fatermési osztály fajonkénti (8 faj) változását igyekeztünk előre becsülni a klímaváltozás függvényében. Ehhez a klímaváltozást jellemző klímátípus értéken kívül a talajtípus, a termőréteg vastagság és a textúra osztály értékeit használtuk fel.

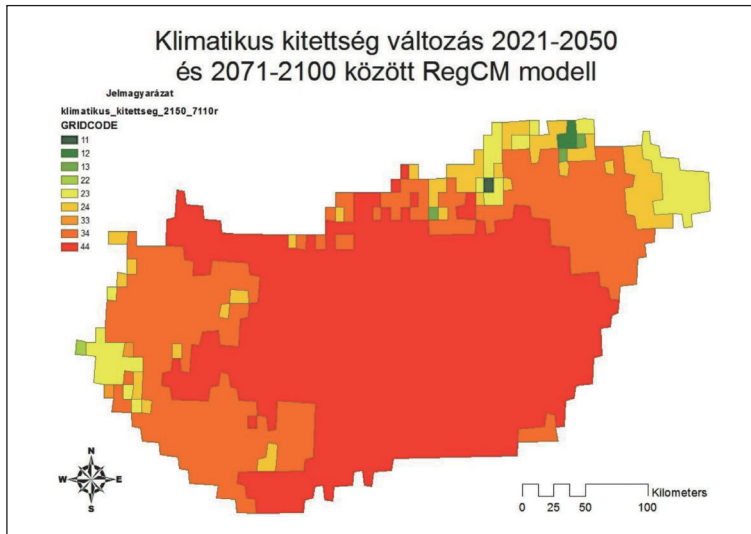
Fatermési osztály és változásának becslése

A fatermési osztály tehát a termőhelyek fatermesztés szempontjából történő értékelését teszi lehetővé. Elvben korfüggetlen és a sokszor nehezen összemérhető direkt mennyiségi értékeken túlmenően – pl.: élőfakészlet – minőségi értékkel is bír.

A fatermési osztályok térbeli becsléséhez elsőként meg kellett határozni fajonként a bázis időszakra jellemző fatermési potenciált. Mivel a termőhely nagyban befolyásolja a fatermés értékét, így ezt a bázisvonal meghatározást termőhely függővé tettük, ahol is a talajtípust, a termőréteg vastagságot és a textúra osztályt vettük még figyelembe a klímátípuson kívül.

Ezáltal létrejött a fatermést leginkább befolyásoló adatrétegek rendszere. A bázisvonal meghatározásához ezek után a 2006. évi erdőrézlet adatállomány alapján a korábbi, Föld-rendszer projekt (www.foldrendszer.hu) keretében készített statisztikák eredményeiből leválogattuk azokat az eredményeket, amelyek a vizsgálatba vont fajokból álltak és elegyarányuk 75%, vagy nagyobb volt, továbbá teljes életciklusukat a bázis időszak elején kezdték, vagyis fatermési szempontból a bázisidőszakban álltak be, 1961 és 1990 között. Ez korosztály a fenti feltételekkel szűkítve durván 30 ezer rekord által reprezentált.

A korosztályon belül a 8 faj esetében ezek után statisztikailag elemeztük, hogy az általuk jellemzően elfoglalt termőhelyeken az egyes klímátípusokban milyen fatermési osztály értéket értek el. Ugyanígy jártunk el a vizsgálatba vont fajok 1991-2010 közötti időszakban létrejött faállományával is, kb. 50 000 rekord.



2. ábra: A klimatikus kitettség változása 2021–2050 és 2071–2100 között a RegCM modell alapján
 Figure 2: Change in climatic exposure according to RegCM climate modell between 2021–2050 and 2071–2100

A fenti két adatállomány statisztikai összevetése gyakorlatilag a klímában bekövetkezett változások fatermes következményeit mutatja.

A következő lépésben felhasználtuk a klímaváltozás következtében létrejövő klímátípus eltolódási mátrixot, vagyis azt a térbeli mintázatot, ahogyan az egyes klímátípusok eltolódnak az időablakok között (2. ábra).

A fatermesi osztály eltolódás becslése ezek után térben többé-kevésbé explicit módon és a termőhelytípusok különbségeinek figyelembe vételével történhetett.

- Az 1961–1990 és az 1991–2010 időszakok közötti klímátípus eltolódásból értékelhető volt, hogy egyes termőhelyeken fafajonként milyen következménnyel jár egy klímátípus váltás, vagyis pl.: bükkösből gyertyános tölgyes, vagy cseres, ill. kocsánytalan tölgyesből erdősztyepp lesz a klímakategória (<http://www.ertigis.hu/gisalkalmazasok/AGRATER/>). Azt is értékelni tudtuk, hogy mi történik azokon a területeken, ahol nem vált a klímátípus, csak a klímátípuson belül van némi sodródás – ez utóbbit a FAI változásával mérhetjük, tehát pl.: bükkös volt és bükkös maradt, de kicsit melegebb és szárazabb. (Megjegyezzük, hogy olyan eset nem volt a történelmi időszakokban 1961-től 2010-ig, ahol két időablak között (1961–1990, ill. 1991–2010) egyszerre két klímátípusnyi változás történt. Ezzel szemben a projektált jövőbeni időablakok esetén nemegyszer két klímátípusnyi ugrás is előfordult. Ez esetben a későbbiekben úgy jártunk el, hogy lépcsőzetesen érvényesítettük a hatást, tehát pl.: bükkösből cseres, ill. kocsánytalan tölgyes = bükkösből gyertyános-tölgyes + gyertyános-tölgyesből cseres, ill. kocsánytalan tölgyes).
- Fafajonként a jelen állapotból kiindulva előreléptettük a klímátípus eltolódásból származó fatermesi osztály változást. Ha például a bükkösből gyertyános tölgyes klímátípusba történő átlépés a bükk esetében szignifikánsan $-0,5$ fatermesi osztálynyi változást jelentett, akkor ezt érvényesítettük az aktuális állapothoz képest, ha pedig a gyertyános-tölgyesből cseres, ill. kocsánytalan tölgyes irányába tett váltás -2 fatermesi osztály különbséget eredményezett az adott termőhelyen, akkor azt a különbséget érvényesítettük. Ezáltal a jövőben várható fatermesi osztály térképek fafajonként és termőhelytípusonként álltak elő az egyes időablakokra.

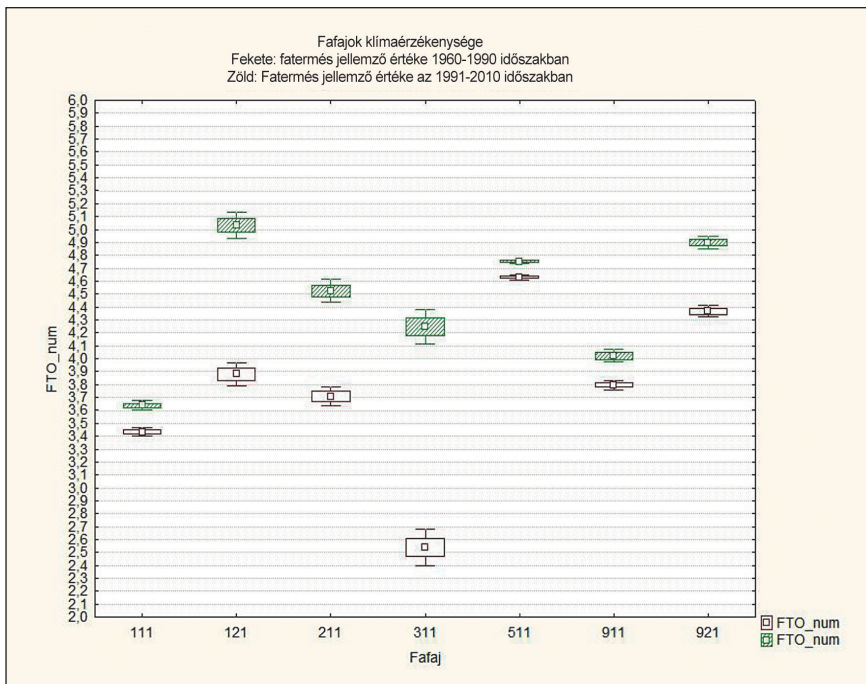
Sok esetben a klímátípus váltással és a klímátípuson belüli fatermesi osztály eltolódással bőven kifutunk az elméleti természetességi határból. Az adott faj számára alkalmatlan területeken a VI. fatermesi osztálytól lefelé már nincsenek fokozatok, vagyis onnan az adott faj nagy valószínűséggel kiszorul.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Az eredmények azt mutatták, hogy klímaérzékenységben jelentős eltérések vannak a fajok között (3. ábra). A klímaérzékenység tapasztalt mértéke és iránya is jól összevág azzal a képpel, ami ezeknek a fafajoknak az általános klímaigényével kapcsolatban a szakirodalomban fellelhető (Gencsi és Vancsura 1997) Legérzékenyebb a bükk, őt követi a kocsánytalan tölgy és a cser. Mérsékelten érzékeny a feketefenyő és az erdei fenyő, míg kevésbé érzékeny az akác, a kocsányos tölgy.

A klímatípus váltás a fafajok esetében szignifikáns változást hozott a fatermési osztályok jellemző értékeiben. A bükk esetében majdnem 2 fatermési osztály, a kocsánytalan tölgy és a cser esetében durván 1, míg a feketefenyő esetében 0,5 fatermési osztálynyi csökkenést jelentett az 1961–1990 és az 1991–2010 közötti időszakok alatt realizálódott klímaváltozás.

A várható fatermésre gyakorolt hatásokat fafajonként és termőhelytípusonként térképen ábrázolva térben is láthatóvá válik, mely területeket érint generálisan hátrányosan a klímaváltozás a fatermesztés szempontjából. Egy ilyen példát mutat a 4. és 5. ábra, amelyeken a kocsánytalan tölgy bázisidőszaki és a 2021–2050 közötti időablakra vonatkozó fatermési potenciálja látható a RegCM (RCM) klímamodell alapján. Ilyen térképpárok fafajonkénti értékelésével tudjuk nagyobb területi egységekre, tájakra nagyságrendileg becsülni a fatermési potenciál változásából eredő és várható hatásokat.



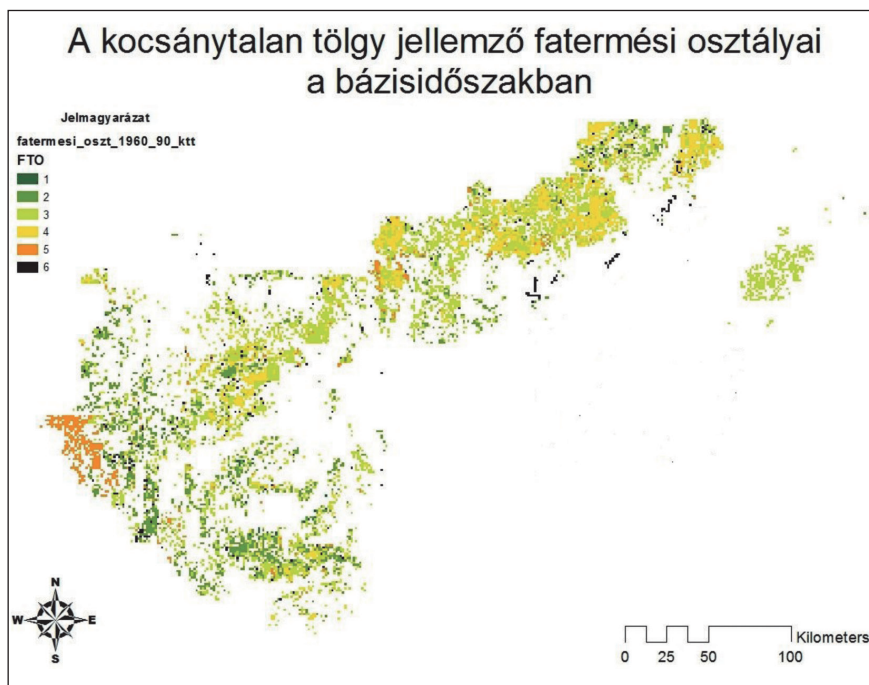
3. ábra: A főfafajok összesített klímaérzékenysége a bázisidőszak és az 1991–2010 időszak közötti tény klímadatak alapján (111-KST; 121-KTT; 211-CS; 311-B; 511-A; 911-EF; 921-FF)

Figure 3: Summarized climate sensitivity of main species according to base period and the climatic data of 1991–2010 (111-*Qu. robur*; 121-*Qu. petraea*; 211-*Qu. cerris*; 311-*F. sylvatica*; 511-*R. pseudoacacia*; 911-*P. sylvestris*; 921-*P. nigra*)

A 4. ábrán látható, hogy a kocsánytalan tölgy szempontjából a legkedvezőbb termőhelyek a dunántúli, illetve a középhegységi erdőterületeken találhatók. A változó vízellátású és a sekély termőrétegű területeken a kocsánytalan tölgyesek gyenge fatermőképességgel jellemezhetők.

A RegCM klímamodell alapján becsült jövőbeli jellemző fatermőképességi erélyt ábrázoló 5. ábra alapján a korábbi fatermési mintázat átrendeződése prognosztizálható. Jelentősen visszaeshet a kocsánytalan tölgyek fatermőképessége a domb és hegyvidékek esetében egyaránt. Ezen belül is jelentősen növekedhet a VI. fatermési osztályba kerülő faállományok mennyisége.

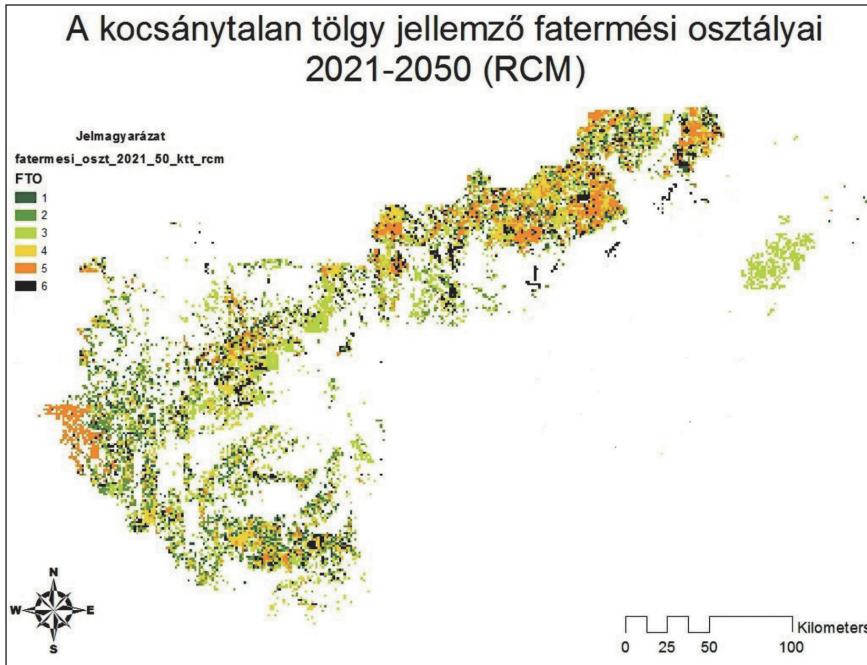
A 4. és 5. ábrákhoz hasonló becsléseket a nyolc fő állományalkotó fajokra készítettünk mind az ALADIN, mind a RegCM klímamodellek adatai alapján a két jövőbeli időablakra vonatkozóan (2021–2050 és 2071–2100) egyaránt. A becslések térképi eredményeit e helyen nem közöljük, de azok megtekinthetők a www.ertigis.hu oldalon az AGRATéR projekt térképszolgáltatásai között. Ugyanitt a két felhasznált klímamodell szerinti klímatispus eltolódások is tanulmányozhatók abban a 8x10 km-es felbontásban, amelyben ezek a modellek rendelkezésre állnak.



4. ábra: A kocsánytalan tölgy jellemző fatermési osztályai a fajra jellemző termőhelyeken a bázisidőszakra (1961–1990) vonatkozóan

Figure 4: Specific yield classes on specific sites for *Qu. petraea* characterizing the base period (1961–1990)

A fajokra, ill. fajcsoportokra vonatkozó becsléseink alapján azt látjuk, hogy amennyiben a vizsgált két klímamodellnek megfelelően alakulnak a klimatikus feltételek hazánkban, akkor generálisan, az erdőterületek kb. ¾-ét kitevő faállománytípusaink fatermése jelentősen lecsökken. A kocsánytalan tölgyön kívül erősen visszaeshet a bükkösök, de még a cseresek fatermése is, továbbá érzékenyen reagálnak a nemesnyarak, valamint az erdei- és feketefenyő. Legkisebb változást nem meglepő módon az akác és a kocsányos tölgy mutat, ami ezen két fajjal klímával való lazább, míg más termőhelyi paraméterekkel szembeni szorosabb kötődésével magyarázható.



5. ábra: A kocsánytalan tölgy jellemző fatermési osztályai a fajra jellemző termőhelyeken a 2021–2050 időszakra vonatkozóan a RegCM klímamodell alapján

Figure 5: Specific yield classes on specific sites for *Qu. petraea* characterizing the future period of 2021–2050 according to RegCM climate model

KONKLÚZIÓK

A vizsgálat során kapott eredmények jól összevágznak a klímaváltozás erdészeti ágazatra várt hatását elemző más tanulmányokkal, különösen az AGRÁRKLÍMA 1 projekt keretében az erdők produktív viszonyainak becslését célzó kutatások eredményeivel. Az eddigi eredmények mutatják, hogy lehetséges megfelelő módszert találni a jövőbeli változások becslésére, ami statisztikai alapon értékelhetővé teszi a változást. Mindazonáltal fontos kiemelni, hogy az egyes fafajok esetében akár jelentős eltérések is lehetnek az egyes klímamodellek alapján prognosztizált várható hatások mértékében és irányában egyaránt. Másfelől a klimatikus modellek térbeli felbontása homogenizálhatja a klímaváltozás lokális hatásainak érvényesülését. Ezért egy adott területre és fafajra nézve is soha nem egyes becslések adatait, hanem több becslés összesített (ensemble) adatát célszerű felhasználni és a trendeket értékelni az abszolút értékben vett, egyedileg projektált változások helyett. Éppen ezért a jelenlegi két klímamodellre épülő becslést még nem tartjuk elegendőnek a regionális és fafajokra vonatkozó trendek véglegesítésében, így a továbbiakban mind a klímamodellek számát, mind a becslések módszereit növelni és finomítani kell, hogy a gazdálkodás jövőbeli tervezéséhez megfelelően szűk hibahatárral lehessen a várható hatásokat országos szinten értékelni és felhasználni a stratégiai tervezésben.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás lichtensteini, izlandi és norvég támogatásból valósult meg (EEA Grants), az AGRATÉR (A NATÉR kiterjesztése az agrár-szektorban) projekt keretében és az EGT finanszírozási mechanizmus 2009-2014, Alkalmazkodás az éghajlatváltozáshoz Magyarországon programja keretében, a Regionális Környezetvédelmi Központ közreműködésével. Projektazonosító: C12-12.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Allen, C. D.; Macalady, A. K.; Chenchouni, H.; Bachelet, D.; McDowell, N.; Vennetier, M. and Cobb, N. 2010: A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259 (4): 660-684. DOI: [10.1016/j.foreco.2009.09.001](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001)
- Anderegg, W. R. L.; Hicke, J. A.; Fisher, R. A.; Allen, C. D.; Aukema, J.; Bentz, B.; and Zeppel, M. 2015: Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytologist*, 208 (3): 674-683. DOI: [10.1111/nph.13477](https://doi.org/10.1111/nph.13477)
- Bartholy, J. and Pongrácz, R. 2010a: Analysis of precipitation conditions for the Carpathian Basin based on extreme indices in the 20th century and climate simulations for 2050 and 2100. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35 (1-2): 43-51. DOI: [10.1016/j.pce.2010.03.011](https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.03.011)
- Bartholy J.; Pongrácz R. and Torma C. 2010b: A Kárpát-medencében 2021-2050-re várható regionális éghajlatváltozás RegCM-szimulációk alapján. "Klíma-21" Füzetek, 60, 3-13.
- Easterling, W.; Aggarwal, P.; Batima, P.; Brander, K.; Erda, L.; Howden, M.; Kirilenko, A.; Morton, J.; Soussana, J.-F.; Schmidhuber, J. and Tubiello, F. 2007: Food, fibre and forest products. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 273-313. Retrieved from <http://gala.gre.ac.uk/2359/>
- Führer, E.; Horváth, L.; Jagodics, A.; Machon, A. and Szabados, I. 2011: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás*, 115 (3): 205-216.
- Gencsi L. és Vancsura R. 1997: *Dendrológia* (2. ed.). Mezőgazda Kiadó.
- Hlasny, T.; Barcza, Z.; Fabrika, M.; Balazs, B.; Churkina, G.; Pajtik, J. and Turcani, M. 2011: Climate change impacts on growth and carbon balance of forests in Central Europe. *Climate Research*, 47 (3): 219-236. DOI: [10.3354/cr01024](https://doi.org/10.3354/cr01024)
- Hlásny, T.; Mátyás, Cs.; Seidl, R.; Kulla, L.; Merganičová, K.; Trombik, J. and Konôpka, B. 2014: Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaptation? *Forestry Journal*, 60 (1): 5-18. DOI: [10.2478/forj-2014-0001](https://doi.org/10.2478/forj-2014-0001)
- Horányi, A.; Mile, M.; and Szűcs, M. 2011: Latest developments around the ALADIN operational short-range ensemble prediction system in Hungary. *Tellus, Series A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 63 (3): 642-651. DOI: [10.1111/j.1600-0870.2011.00518.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2011.00518.x)
- IPCC. 2007: *IPCC Fourth Assessment Report (AR4)*. IPCC, 1, 976. ISSN: 02767783
- Luo, Y. and Chen, H. Y. H. 2015: Climate change-associated tree mortality increases without decreasing water availability. *Ecology Letters* 18 (11): 1207-1215. DOI: [10.1111/ele.12500](https://doi.org/10.1111/ele.12500)
- Mátyás, Cs. 2006: Migratory , genetic and phenetic response potential of forest tree populations facing climate change. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica*, 2, 33-46.
- Mátyás, Cs.; Berki, I.; Czúcz, B.; Gálos, B.; Móríc, N. and Rasztoivits, E. 2010: Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6, 91-110.
- Mátyás, Cs. and Sun, G. 2014: Forests in a water limited world under climate change. *Environmental Research Letters*, 9 (8): 085001. DOI: [10.1088/1748-9326/9/8/085001](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/085001)
- Settele, J.; Scholes, R. J.; Betts, R.; Bunn, S.; Leadley, P.; Nepstad, D. and Tobaoda, M. S. 2014: Chapter 4. Terrestrial and Inland Water Systems. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 271-359. 31 March 2014



- Somogyi, Z. 2008: Recent trends of tree growth in relation to climate change in Hungary. *Acta Silvatica Lignaria Hungarica*, 4, 17-27.
- Spiecker, H. 1999: Overview of recent growth trends in European forests. *Water, Air, and Soil Pollution*, 116 (1-2): 33-46. DOI: [10.1023/a:1005205515952](https://doi.org/10.1023/a:1005205515952)
- Spinoni, J.; Lakatos, M.; Szentimrey, T.; Bihari, Z.; Szalai, S.; Vogt, J. and Antofie, T. 2015a: Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology*, 35 (14): 4197-4209. DOI: [10.1002/joc.4279](https://doi.org/10.1002/joc.4279)
- Spinoni, J.; Szalai, S.; Szentimrey, T.; Lakatos, M.; Bihari, Z.; Nagy, A. and Vogt, J. 2015b: Climate of the Carpathian Region in the period 1961-2010: Climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology*, 35 (7): 1322-1341. DOI: [10.1002/joc.4059](https://doi.org/10.1002/joc.4059)
- Szépszó, G.; Lingemann, I.; Klein, B. and Kovács, M. 2014: Impact of climate change on hydrological conditions of Rhine and Upper Danube rivers based on the results of regional climate and hydrological models. *Natural Hazards*, 72 (1): 241-262. DOI: [10.1007/s11069-013-0987-1](https://doi.org/10.1007/s11069-013-0987-1)

Érkezett: 2016. május 6.

Közlésre elfogadva: 2016. szeptember 27.