

AZ ERDŐTELEPÍTÉS SZEREPE A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSÁNAK MÉRSÉKLÉSÉBEN

Gálos Borbála¹, Mátyás Csaba¹ és Jacob Daniela²

¹Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Földtudományi Intézet

²Climate Service Center – eine Einrichtung am Helmholtz-Zentrum

Kivonat

Az aszályos nyarak valószínűségének és szélsőségségének várható alakulását, valamint az erdőterület-változás lehetséges klímamódosító hatását a REMO regionális klímamodell segítségével elemeztük. A 2021-2025-ös időszakra vizsgáltuk, hogy a rossz adottságú és gyenge minőségű szántók helyére tervezett erdők, illetve az egész ország beerdősítése milyen irányban és mértékben képes befolyásolni az A1B kibocsátási forgatókönyv alapján előrejelzett hőmérséklet- és csapadéktendenciákat. A feltételezett maximális erdőtelepítés hatását az 2071-2100-as periódusra, fokozottan melegedő és szárazodó éghajlati viszonyok között is számszerűsítettük.

A modellszimulációk eredményei alapján a 21. század végén a melegedő-szárazodó tendencia az ország délnyugati részén a legnagyobb. A gazdaságtalan szántók helyén potenciálisan megvalósítható, országos átlagban 7 %-os erdőterület-növekedésnek nincs jelentős hatása a regionális éghajlati viszonyokra. A 2071-2100-ig tartó időszakra az erős szászodó tendenciát csak az ország növényzettel borított felszíneinek teljes beerdősítésével lehetne jelentősen enyhíteni. Az erdőtelepítés legnagyobb hatása az északkelet-magyarországi régióban mutatható ki, ahol a klímaváltozással járó csapadékmennyiség csökkenés akár 50 %-kal mérsékelhető, amennyiben van elegendő vízmennyiség a talajban.

Kulcsszavak: klímaváltozás, aszály, erdőterület változás éghajlati hatásai

THE ROLE OF AFFORESTATION IN MITIGATING CLIMATE CHANGE

Abstract

For the 21st century warming and drying of summers in Hungary are projected to be more extreme than the hemispheric average. Climate change impact studies in the region show that recurrent droughts cause growth decline and mortality of zonal forests at their lower (xeric) limit of distribution. Forests affect the climate through their influence on surface energy fluxes and on water cycle that alter the climate change signal. Biogeophysical feedbacks of forest cover changes on the climate have been investigated for two forest cover scenarios in the 21st century, using the regional climate model REMO. For 2021-2025 the model has been driven by the potential afforestation concept (Járó and Führer 2005) assuming 7 %



increase of forest cover in country mean. In the same time period as well as at the end of the 21st century (2071-2100), effects of maximal afforestation (forests over all vegetated area) have been studied.

The potential afforestation has no significant influence on the climate of Hungary. For the maximal afforestation case study (2071-2100), the expected tendency of drying may be mitigated. The largest increase of precipitation has been projected to the northeastern region, where 50 % of the climate change signal can be compensated, if there is enough available water in the soil. Regarding to surface temperature, the evaporative cooling effect of forests seems to dominate.

Analysing the results it has to be taken into account that in the simulations forest cover change was performed on a limited area, and the effects appear partly in adjacent regions. Also, because of the uncertainty of certain temperate forest cover parameters, results of future field measurements are needed to improve model precision, especially at higher spatial resolution.

Keywords: climate change, drought, climatic effects of forest cover change

BEVEZETÉS

A regionális klímamodellek eredményei alapján Magyarországon a 21. században jelentős felmelegedés és nyári csapadékcsökkenés valószínűsíthető (Bartholy és mtsai 2011). Ezzel egyidejűleg a különösen a meleggel összefüggő szélsőséges jelenségek (aszályok, hóhullámok) gyakorisága növekedhet (Mika 2007, Szalai és Mika 2007, Bartholy és mtsai 2007, Szépszó 2008). A század második felében akár minden második nyár szélsőségesen száraz lehet, valamint az összefüggő száraz periódusok is hosszabbá válhatnak (Gálos és mtsai 2007). Hazánk területén a zárt (zonális) erdő és számos zonális fafaj elterjedésének alsó határa húzódik (erdő – sztyepp határ), ahol a klimatikus extrémek alakulása döntő szerepű (Mátyás és mtsai 2009). A szélsőségesen száraz időszakok gyakoriságának és hosszának növekedése a humidabb klímát kedvelő állományalkotó fafajaink elterjedési területének csökkenését okozhatják (Führer és Járó 1991, 1992, Führer 2008, Mátyás 2009, Mátyás és mtsai 2010, Berki és mtsai 2009, Czúcz és mtsai 2010, Führer és mtsai 2010, 2011a,b).

A vegetáció nem csupán klímaindikátor és hatásviselő, hanem az időjárás és az éghajlat alakításában is kulcsszerepet játszik. A vegetációval borított felszínnek a csupasz talajhoz képest alacsonyabb az albedója, nagyobb az érdessége és párologtató felülete, ezáltal hat a légkör energia- és vízháztartására (Heck és mtsai 2001, Bonan 2004).

A kutatási eredmények a hőmérséklet emelkedésével a tajga-tundra határ északabbra tolódását mutatják. Mivel a tűlevelű erdők albedója alacsonyabb, mint a hótakaróé, a folyamat tavasszal (hó esetén) pozitív visszacsatolásként hat a globális felmelegedésre (Bonan 2008). A trópusi övben a vegetáció jelenléte – fokozva az evapotranszspirációt és a vízkörforgást – hűvösebb és csapadékosabb éghajlati viszonyokat eredményez (Kleidon és mtsai 2007, Bonan 2008). A mérsékelt égövi erdők klimatikus szerepe a legvitatottabb. Egyes kutatások szerint ha az erdőterületeket mezőgazdasági művelés alá vonják, csökken a hőmérséklet (Oleson és mtsai 2004). Más tanulmányok alapján a gyepek és a szántók erdősítése indukál hűtő és csapadéknövelő hatást (Hogg és mtsai 2000, Sánchez és mtsai 2007).

Drüsler és mtsai (2009, 2010) Magyarországra vonatkozóan a 20. századra kimutatta, hogy a földhasználat-változás képes befolyásolni az éghajlatot és az időjárást. Az erdőtelepítési lehe-

tőségekkel kapcsolatosan több tanulmány készült Magyarországon (Führer 1998, Führer és Járó 2001, Führer, Rédei és Csiha 2003, Járó és Führer 2005).

A hazai erdők lehetséges klímamódosító hatását hosszabb időperiódusra, a 21. századra, regionális léptékben még nem vizsgálták, ezért kutatásaink során a következő kérdésekre kerestünk választ:

- Fékezhető-e az erdőterület növelésével az előrejelzett melegedő – szárazodó tendencia?
- Mekkora hatása van a Magyarországon a Járó és Führer (2005) tanulmánya alapján potenciálisan megvalósítható erdőtelepítésnek a klímára?

ADAT ÉS MÓDSZER

A klímaváltozás mértékét, valamint az erdő éghajlatra gyakorolt hatását a hamburgi fejlesztésű REMO regionális klímamodell (Jacob 2001, Jacob és mtsai 2001) eredményei alapján határoztuk meg. A modellt a vegetációt az egyes felszínborítási kategóriákhoz rendelt paraméterekkel (pl. albedó, levélfelületi index, érdesség, frakcionális vegetációborítás, talajból felvehető vízmenyiség stb.) írja le (Hagemann és mtsai 1999, Hagemann 2002). Ezek közül éves ciklussal jellemezték az albedót, a levélfelületi indexet, valamint a frakcionális vegetációborítást (Rechid és mtsai 2006, 2007).

Esettanulmányaink során az alábbi felszínborítási forgatókönyvek klímára gyakorolt hatását elemeztük (1. táblázat):

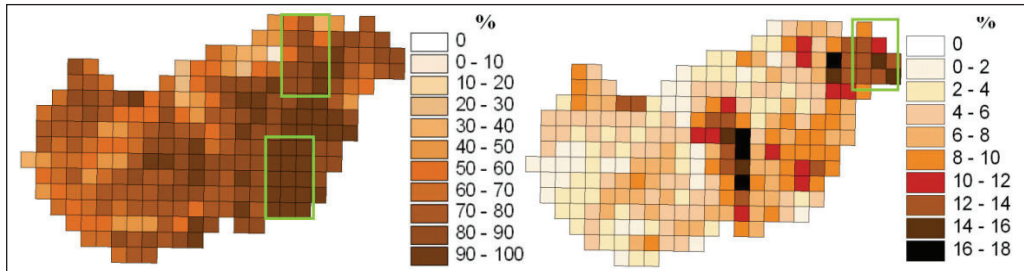
- *Referencia: változatlan erdőterület* (1961-1990, 2021-2025, 2071-2100): jelenlegi felszínborításként a Corine2000 adatbázist vettük alapul (<http://dataservice.eea.eu.int/>).
- *Potenciális erdőtelepítéssel megnövelt erdőterület* (2021-2025): Járó és Führer (2005) 50 erdőgazdasági tájra meghatározták az erdőtelepítésre tervezett, gazdaságtalan szántóterületek nagyságát. A terv szerint országos átlagban 7 %-os erdőtelepítés valósulhatna meg, melyből 6,5 % lomb és 0,5 % fenyő. Ezeket a Corine2000 szerinti erdőterületekhez adva számítottuk a potenciális erdőborítottságot.
- *Maximális erdőterület* (2021-2025, 2071-2100): az ország valamennyi vegetációval borított területén erdőt feltételeztünk.

1. táblázat: Modellfuttatások és jellemzőik

Table 1: Experimental setup

	Referencia: változatlan erdőterület	Potenciális erdőtelepítés	Maximális erdőterület
Jellemzők	Jelenlegi erdőborítás (Corine2000)	Gazdaságtalan szántók helyére erdő	Minden növényzettel borított felszín erdő
Időszak	1961-1990 2021-2025 2071-2100	2021-2025	2021-2025 2071-2100
Horizontális felbontás	0.176° (~ 20 km)		
Kibocsátási forgatókönyv	IPCC SRES A1B emisszióscenárió		

Módszert dolgoztunk ki az erdőterület-szenáriók REMO regionális klímamodellbe való beépítésére, a lomb- és fenyőerdők jövőbeni arányának meghatározására a modell rácsegységeiben. A potenciális és maximális erdőtelepítési forgatókönyvekre kiszámítottuk az erdőterület-növekedés mértékét (1. ábra), valamint a felszínparaméterekben bekövetkezett változások pixelenkénti értékét. Erdőtelepítés hatására a modellben a paraméterek közül a legjelentősebb növekedés a levélfelületi indexben és az érdességben volt tapasztalható, míg az albedóértékek csökkenést mutattak.



1. ábra: Az erdőterület növekedése maximális (baloldali ábrarész), ill. potenciális erdőtelepítés (jobboldali ábrarész) esetén. Kerettel jelölve a részletesebben elemzett térségek.
 Figure 1: Forest cover increase for the maximal (left) and potential (right) afforestation case studies. Regions selected for detailed analyzes are marked.

A felszínborítást csak Magyarország felett változtattuk. A futtatásoknál 20 km-es horizontális felbontást alkalmaztunk, a 21. századra az A1B kibocsátási forgatókönyvet vettük alapul (IPCC 2007).

Az erdők klimatikus hatása várhatóan a vegetációs időszakban a legnagyobb, ezért a május, június, július, augusztus hónapok 5, illetve 30 éves átlagait elemeztük. A klímaváltozás mértékét a 2021-2025, valamint a 2071-2100 közötti időszakra határoztuk meg az 1961-1990-es periódushoz képest (1. táblázat). A két 21. századi időszakra összehasonlítottuk az erdőszítési forgatókönyvekkel szimulált éghajlati viszonyokat a hozzájuk tartozó referencia felszínborítással végzett futtatások eredményeivel. Az erdőterület-növekedés klimatikus hatásainak irányát és nagyságrendjét összevetettük a szimulált klímaváltozás mértékével.

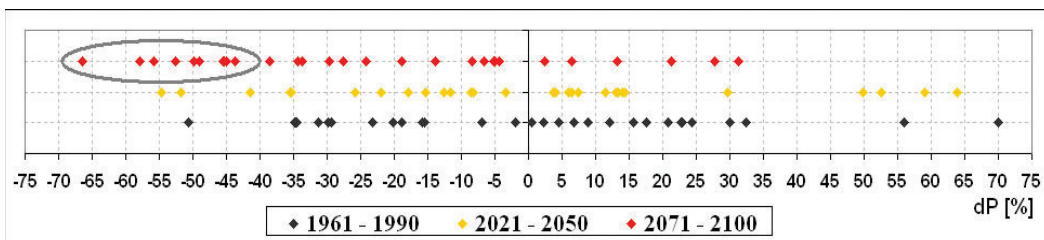
A maximális erdőszítés esete az adott modellel kimutatható legnagyobb hatást számszerűsíti. A potenciális erdőtelepítésből adódó eredmények a gyakorlat szempontjából lehetnek érdekesek.

EREDMÉNYEK

A klímaváltozás és az erdőtelepítés hatása 2071-2100-ban

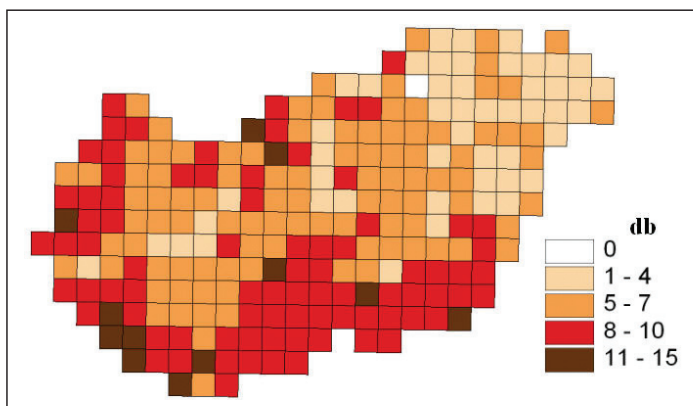
A klímamodell eredményei alapján a 21. század utolsó harmadára a nyári hónapok átlaghőmérséklete akár 3-3,5 °C-kal emelkedhet, a csapadékösszeg csökkenése elérheti a 30-35 %-ot az 1961-90-es időszakhoz képest. Az átlagértékekben várható változással egyidőben a szélsőséges időjárási események is gyakoribbá válhatnak. Míg a 20. század végén alig fordult elő,

hogyan a nyári negatív csapadékanómia országos átlaga meghaladta a 40 %-ot, 2071-2100-ra ezeknek a súlyos aszályoknak a valószínűsége szignifikánsan megnőhet (2. ábra).



2. ábra: Két 21. századi időszak nyári csapadékanómiai az 1961-1990-es átlagperiódushoz viszonyítva
Figure 2: Summer precipitation anomalies for two future time periods relative to the mean of the reference period 1961-1990

A szárazodó tendencia területi eloszlása alapján meghatároztuk a legveszélyeztetettebb térségeket. A 3. ábrán látható, hogy a 21. század végére a délnyugati határövezetben növekszik meg legjobban a szélsőséges aszályok száma a 20. század végi klímaperiódushoz viszonyítva.



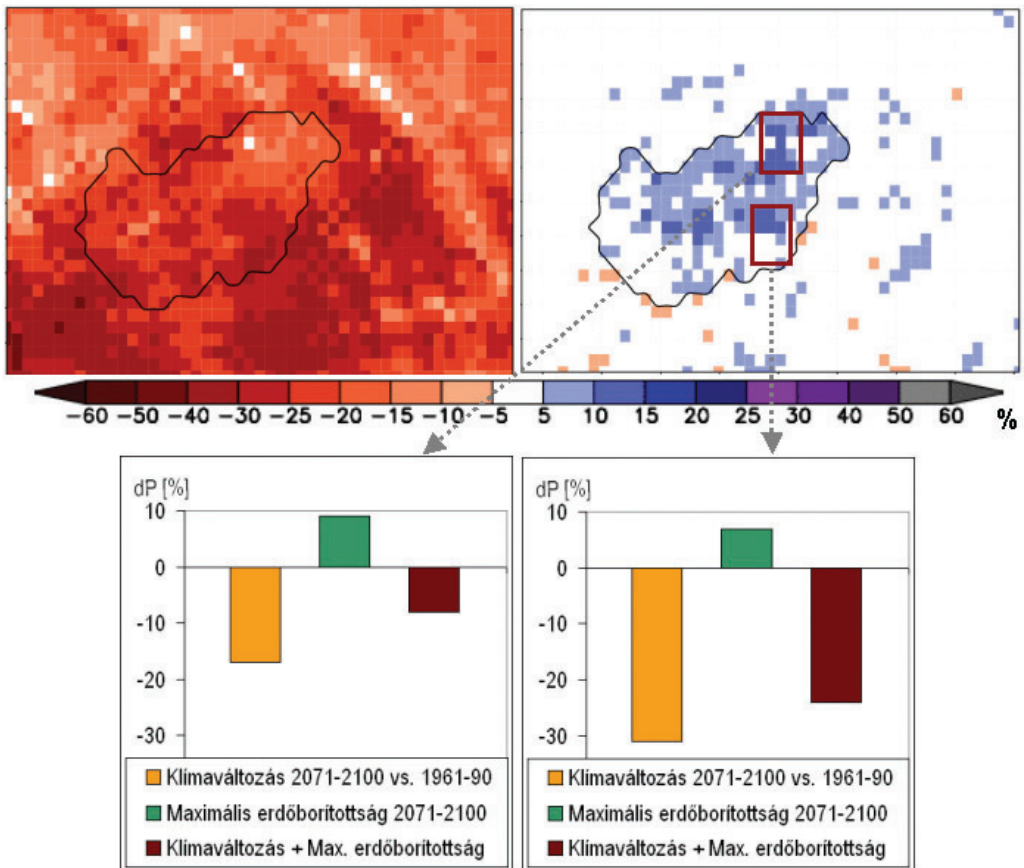
3. ábra: Szélsőségesen száraz nyarak (negatív csapadékanómia > 40 %) számának változása 2071-2100 között az 1961-1990-es időszakhoz képest
Figure 3: Projected change of the total number of extremely dry summers (negative precipitation anomaly > 40 %) for 2071-2100 vs. 1961-1990

A 20. század végi, 21. század eleji összefüggő aszályos periódusok tapasztalatai alapján a szárazsági erdőhatáron a szélsőséges események gyakoriságának növekedése egészségkárosodást, hosszabb távon tömeges mortalitást idéz elő (Mátyás és mtsai 2009). Ez Somogy és Zala megyére nézve azt eredményezheti, hogy a klimatikusan határhelyzetű erdőállományokban elkezdődött egészségkárosodási folyamat (Molnár és Lakatos 2007, Berki és mtsai 2009, Csóka és mtsai 2007, 2009) a jövőben felgyorsulhat és súlyosbodhat.

A felszínborítás és változása hatást gyakorol a hidrológiai ciklusra és az energiaháztartási folyamatokra. Ezért Magyarország területén teljes erdőborítást feltételezve vizsgáltuk, hogy erdősítéssel enyhíthető-e a prognosztizált klímaváltozás mértéke.

Eredményeink alátámasztották, hogy a vegetációs időszakban a nagyobb sugárzás, valamint a fás növényzet nagyobb levélfelületi indexe és érdessége intenzívebb transpirációt indukál. Ennek mértéke 30 év átlagában 18-20 %-kal lehet magasabb abban a térségben, ahol a jelenlegi felszínborításhoz képest a legnagyobb mértékű erdőtelepítés történt (1. ábra). Így a sugárzási energiából több alakult át látens hővé, a Bowen-arány csökkenése (Vig 2007) az aktív felszín hőmérsékletét 1 °C-kal csökkentette.

A hőmérsékleti viszonyok alakításában a párolgás hűtő hatása mellett az albedó is szerepet játszik. A kisebb albedójú lombkorona a sugárzás nagyobb hányadát nyeli el, ezért melegebb, mint más növényzettel borított felszín. Ez mérsékelheti az evapotranspiráció hűtő hatását. A transpiráció csökken a magasabb CO₂ tartalom hatására összességében záruló sztomák miatt is. Azonban ezt a folyamatot a modell nem veszi figyelembe.



4. ábra: A nyári csapadékmennyiség változása a klímaváltozás következményeként (2071-2100 vs. 1961-90; balra fent), valamint maximális erdőtelepítés hatására (2071-2100; jobbra fent).

Az alsó ábrarész a két hatás irányát és nagyságát hasonlítja össze a vizsgált területekre.

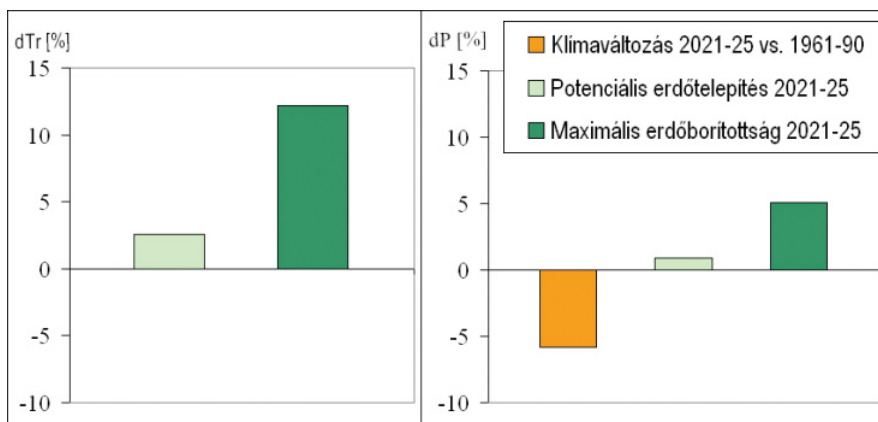
Figure 4: Change of the summer precipitation sum due to climate change (2071-2100 vs. 1961-90; top left), and due to maximal afforestation (2071-2100; top right). At the lower part of the figure the sign and the magnitude of the climatic effects of emission change and afforestation are compared for two selected regions.

A vizsgált 30 éves periódusban a maximális erdőtelepítés az egész országban a nyári hónapok csapadékmennyiségének növekedését eredményezte, mely jelentősen enyhítheti az A1B kibocsátási forgatókönyv alapján előrejelzett szárazodó tendenciát, amennyiben van elegendő vízmennyiség a talajban (4. ábra). Ennek egyik oka, hogy a fokozott evapotranspiráció konvektív csapadékképződéshez vezet. Azonban a csapadék kialakulását nem csak lokális folyamatok befolyásolják. A 21. század végére a vizsgált dél-alföldi területen – a jelenlegi felszínborítás mellett – 1961-1990-hez képest 31 %-os csapadékcsökkenés várható. A feltételezett maximális erdőtelepítéssel járó 6,5 % csapadéktöbblet ennek egyötöd részét képes kiegyenlíti. Magyarország beerdősítésének legnagyobb relatív hatása a vizsgált északkelet-magyarországi régióban mutatható ki (30 év átlagában 9 %), ahol a klímaváltozással járó csapadékmennyiség-csökkenés akár 50 %-kal mérsékelhető, amennyiben van elegendő vízmennyiség a talajban (4. ábra). Az aszályosodás által legveszélyeztetettebb délnyugati határövezetben a legkisebb az erdők klímaváltozás-mérséklő hatása (Gálos és mtsai 2011).

Az eredmények a május-augusztus időszakra vonatkozó átlagértékeket tükrözik. Azonban az erdőtelepítés párolgást fokozó és csapadéknövelő hatása májustól júliusig ennél nagyobb, majd augusztusban jelentősen mérséklődik, mivel a talaj nedvességtartalmának csökkenése korlátozza a transpirációt. Ez összhangban van Heck és mtsai (2001) következtetéseivel.

A potenciális erdőtelepítés klimatikus hatása 2021-2025-ben

Vizsgáltuk, hogy mekkora az a klimatikus hatás, amely a közeljövőben potenciálisan megvalósítható erdőtelepítéssel elérhető. A modell eredményei alapján a gyenge és rossz minőségű szántók helyére tervezett 7 %-os erdősítéssel (1. ábra) szignifikánsan nem befolyásolható az ország éghajlata.



5. ábra: A potenciális erdőtelepítés hatása a transpiráció (bal oldali ábrarész) és a csapadékmennyiség (jobb oldali ábrarész) változása a szatmári területen

Figure 5: Effect of the potential afforestation on transpiration (left) and precipitation (right)

Részletesebben a szatmári térségre prognosztizált változásokat elemeztük, ahová a legnagyobb arányú lomberdőterület-növekedést irányozták elő (13 %). A mezőgazdasági növények-



hez képest az erdő nagyobb érdessége és levélfelülete lokálisan nagyobb transpirációs rátát és alacsonyabb felszínhőmérsékletet eredményezett. (Ha gyepeket erdősítenének be, a felszínparaméterek közti nagyobb különbség miatt a lokális hatások fokozottabban jelentkeznének.) A nyári hónapok csapadékmennyisége nem változott. Ugyanakkor ugyanerre az 5 éves periódusra a nyári csapadékösszeg 5 %-kal emelkedne ezen a területen, ha az országban minden növényzettel borított felszín erdő lenne. Ezzel a klímaváltozás hatása erre az időszakra kiegyenlíthető lenne (5. ábra).

ÖSSZEFOGLALÁS

Az erdő nem csupán klímaindikátor, hanem az energia- és vízháztartási folyamatokban betöltött szerepén keresztül fontos hatótényező az éghajlati rendszerben. A gyakorlatban kedvező mikroklimatikus és tájképi hatásai, ökológiai szolgáltatásai, lokális védelmi, valamint jóléti funkciói ismertek. Regionális léptékben hosszabb jövőbeni periódusra a magyarországi erdők „értékét” éghajlati szempontból még nem mérték fel.

Az erdőterület-változás lehetséges klímamódosító hatását a 21. században a REMO regionális klímamodell segítségével elemeztük. A 2021-2025 közötti időszakra vizsgáltuk, hogy a rossz adottságú és gyenge minőségű szántók helyére tervezett erdők, illetve az ország növényzettel borított felszíneinek teljes beerdősítése milyen irányban és mértékben képes befolyásolni az A1B kibocsátási forgatókönyv alapján előrejelzett hőmérséklet- és csapadéktendenciákat. A feltételezett maximális erdőtelepítés hatását a 21. század végére (2071-2100) fokozottan melegedő és szárazodó éghajlati viszonyok között is számszerűsítettük.

Az eredmények alapján megállapítható:

- A gazdaságtalan szántók helyén megvalósítható, átlagosan 7 %-os erdőterület-növekedés esetén (2021-2025) a kisebb, elszórt erdőfragmentumok szignifikánsan nem képesek befolyásolni az ország éghajlatát.
- Az erdőtelepítés a fás növényzet nagyobb érdessége, levélfelülete révén intenzívebb transpirációt eredményezett. A kiemelten vizsgált szatmári térségben a nyári hónapokra prognosztizált csapadékmennyiség 5 év átlagában nem változna a potenciálisan végrehajtható erdőtelepítések kivitelezésével. Ugyanakkor a nyári csapadékösszeg 5 %-kal emelkedne ezen a területen, ha az országban minden növényzettel borított felszín erdő lenne.
- A 2071-2100 között tartó időszakra a feltételezett maximális erdőtelepítéssel az erőteljes szárazodó tendencia az ország egész területén jelentősen enyhíthető lenne. Ebből következik, hogy csak a nagyobb összefüggő erdőtömbök telepítésével befolyásolhatók a regionális éghajlati viszonyok.
- A maximális erdőterület-növekedés legnagyobb hatása a vizsgált északkelet-magyarországi régióban mutatható ki, ahol a klímaváltozással járó csapadékmennyiség-csökkenés akár 50 %-kal mérsékelhető, amennyiben van elegendő vízmennyiség a talajban.

Bár a potenciális erdőtelepítés megvalósításával a klímaváltozás hatásai regionális léptékben nem mérsékelhetők, az eredmények, melyek az erdők klimatikus értékét és annak területi különbségeit számszerűsítik, alapot szolgáltathatnak a jövőre vonatkozó erdészeti politika kialakításához.

A modellfuttatások eredményeire hatással lehet, hogy az erdősültséget csak Magyarország felett módosítottuk, a környező területek felszínborítását változatlanul hagytuk. A teljes modellterület beerdősítésével nagyobb érzékenység és hatás feltételezhető. A modell nem számol a klímának a vegetáció térbeni elterjedésére és növekedésére gyakorolt hatásával. Nem veszi figyelembe az erdők mikroklimatikus hatását, valamint a biokémiai folyamatokat és kölcsönhatásokat (pl. szénkörforgalom). A regionális légköri modell eredményei a felszín fizikai tulajdonságai változásának éghajlati hatásait számszerűsítik.

Az eredményeket a klímamodell erdőfelületre vonatkozó paraméterei felhasználásával kaptuk. Finomabb térbeli felbontás alkalmazása esetén indokoltnak látszik ezek pontosítása (pl. lombos fajok közti különbségek leírása). Ez esetben az erdőfelület hatása a klímára feltételezhetően még erőteljesebben fog jelentkezni. Azonban ehhez a modell paraméterigényéhez alkalmazkodó (pl. LAI, albedó, gyökérmélység), különböző felszínborítások felett végzett megbízható terepi mérések lennének szükségesek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönjük a hamburgi Max Planck Meteorológiai Intézet regionális modellezéssel foglalkozó csoportjának a modellfuttatásokhoz biztosított technikai körülményeket és szakmai tapasztalatokat, valamint Czimber Kornélnak a modellrács konvertálásában nyújtott térinformatikai segítségét. A kutatás a TÁMOP 4.2.2-08/1-2008-20, a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV, valamint a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP – 4.2.2. B – 10/1 – 2010 – 0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bartholy, J.; Pongrácz, R. and Gelybó, Gy. 2007: Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. *Applied Ecology and Environmental Research*, 5: 1-17.
- Bartholy J.; Bozó L. és Haszpra L. (szerk.) 2011: Klímaváltozás – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke, Budapest, 281p.
- Berki, I.; Rasztoivits, E.; Móricz, N. and 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.
- Bonan, G.B. 2004: Biogeophysical feedbacks between land cover and climate. *Ecosystems and Land Use Change. Geophysical Monograph Series*, 153: 61-72.
- Bonan, G.B. 2008: Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science* 320, 1444–1449. doi:10.1126/science.1155121



- Czúcz, B.; Gálhidy, L. and Mátyás, Cs. 2010: Limiting climatic factors and potential future distribution of beech (*Fagus sylvatica* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) forests near their low altitude - xeric limit in Central Europe. *Annales of Forest Science*, 68: 99-108.
- Csóka Gy., Koltay A., Hirka A. és Janik G. 2007: Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyeseink és bükköseink egészségi állapotára. 229-239. In: Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.): Erdő és klíma V. NymE, Sopron.
- Csóka Gy.; Koltay A.; Hirka A. és Janik G. 2009: Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyeseink egészségi állapotára. „Klíma-21” Füzetek 57: 64-73.
- Drüsler Á.; Csirmaz K.; Vig P. és Mika J. 2009: A földhasználat változásainak hatása az éghajlatra és az időjárásra. *Természet Világa*, 140: 521-523.
- Drüsler, Á.; Csirmaz, K.; Vig, P. és Mika, J. 2010: Effects of documented land use changes on temperature and humidity regime in Hungary. 394-418. In: Saikia, S.P. (szerk.): *Climate Change*. Dehra International Book Distributors
- Führer E. és Járó Z. 1991: A feltételezett klímaváltozás várható hatása a magyarországi erdőállományokra és az erdőgazdálkodásra. *Erdészeti Lapok*, 136(3): 81-83.
- Führer, E. és Járó, Z. 1992: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Waldbestände Ungarns. *Österreichische Forstzeitung*, 9: 25-27.
- Führer, E. 1998: Afforestation Potential on the Great Hungarian Plain. *Hungarian Agricultural Research*, 4: 4-8.
- Führer E. és Járó Z. 2001: Az erdőtelepítésre számba jövő területek, azok ökológiai értékelése és fatermési potenciálja. A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának és Erdészeti Bizottságának rendezvénye, „Erdészeti Fórum 2001”. *Erdészeti Tudományos Intézet Kiadványai*, 16: 31-37.
- Führer, E.; Rédei, K. and Csiha, I. 2003: The role of fast growing tree species in the afforestation programme of the Great Hungarian Plain (the Alföld). *Afforestations in Europe experiences and prospects*. *Prace Instytut u Badawczego Lesnictwa*. 93-100.
- Führer E. 2008: Erdőgazdaság. 90-102. In: Harnos Zs.; Gaál M. és Hufnagel L. (szerk.): *Klímaváltozásról mindenkinek*. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Matematikai és Informatikai Tanszék. Budapest.
- Führer, E.; Mátyás, Cs.; Csóka, Gy.; Lakatos, F.; Bordács, S.; Nagy, L. és Rasztovits, E. 2010: Current status of European beech (*Fagus sylvatica* L.) genetic resources in Hungary. *Communicationes Instituti Forestalis Bohemicae*, 25: 152-163.
- Führer, E.; Horváth, L.; Jagodics, A.; Machon, A. and Szabados, I. 2011a: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás*, 115 (3): 205-216.
- Führer E.; Marosi Gy.; Jagodics A. és Juhász I. 2011b: A klímaváltozás egy lehetséges hatása az erdőgazdálkodásban. *Erdészettudományi Közlemények*, 1 (1): 17-28.
- Gálos B.; Lorenz, Ph. and Jacob D. 2007: Klímaváltozás – szélsőségesebbé válnak száraz nyaraink a 21. században? 57-67. In: Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.): *Erdő és klíma V*. NymE, Sopron.
- Gálos, B.; Mátyás, Cs. and Jacob, D. 2011: Regional characteristics of climate change altering effects of afforestation. *Environmental Research Letters*, 6 044010. doi:10.1088/1748-9326/6/4/044010
- Hagemann, S.; Botzet, M.; Dümenil, L. and Machenhauer, B. 1999: Derivation of global GCM boundary conditions from 1 km land use satellite data. *MPI-M, Report 289*, Hamburg, Germany.
- Hagemann, S. 2002: An improved land surface parameter dataset for global and regional climate models. *MPI-M, Report 336*, Hamburg, Germany.
- Heck, P.; Lüthi, D.; Wernli, H. and Schär, Ch. 2001: Climate impacts of European-scale anthropogenic vegetation changes: A sensitivity study using a regional climate model. *Journal of Geophysical Research*, 106: 7817-7835.

- Hogg, E.H.; Price, D.T. and Black, T.A. 2000: Postulated feedbacks of deciduous forest phenology on seasonal climate patterns in the Western Canadian interior. *Journal of Climate*, 13: 4229-4243.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. <http://www.ipcc.ch>.
- Jacob, D. 2001: A note to the simulation of the annual inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Meteorology and Atmosphere Physics*, 77: 61-73.
- Jacob, D. et al. 2001: A Comprehensive Model Intercomparison Study Investigating the Water Budget during the BALTEX-PIDCAP Period. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 77, 19-43.
- Járó Z. és Führer E. 2005: Az erdővagyon bővítése a mezőgazdaságilag gazdaságtalan nem hasznosított földterületek beerdősítésével. In: Molnár S. (szerk.): *Erdő – fa hasznosítás Magyarországon*. Sopron, 129-136.
- Kleidon, A.; Fraedrich, K. and Low, C. 2007: Multiple steady-states in the terrestrial atmosphere-biosphere system: a result of a discrete vegetation classification? *Biogeosciences*, 4: 707-714.
- Mátyás, Cs. 2009: Ecological challenges of climate change in Europe's continental, drought-threatened Southeast. 35-46. In: Groisman, P.Y. – Sergiy, V.I. (eds): *Regional aspects of climate-terrestrial-hydrologic interactions in non-boreal Eastern Europe*, NATO Science Series, Springer Verlag.
- Mátyás, Cs.; Fady, B. and Vendramin, G.G. 2009: Forests at the limit: evolutionary - genetic consequences of environmental changes at the receding (xeric) edge of distribution. Report from a researcher workshop. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica*, 5: 201-204.
- Mátyás Cs.; Führer E.; Berki I.; Csóka Gy.; Drüszler Á.; Lakatos F.; Móricz N.; Rasztovis E.; Somogyi Z.; Veperdi G.; Vig P. és Gálos B. 2010: Erdők a szárazsági határon. „KLÍMA-21” Füzetek. 61: 84-97.
- Mika J. 2007: Új eredmények és összevetések a klímaváltozás hazai sajátosságairól. 13-29. In: Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.) *Erdő és klíma V. NYME, Sopron*.
- Molnár M. és Lakatos F. 2007: A bükkpusztulás Zala megyében – klímaváltozás? 257-267. In: Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.) *Erdő és Klíma V. NYME, Sopron*.
- Oleson, K.W.; Bonan, G.B.; Levis, S. and Vertenstein, M. 2004: Effects of land use change on North American climate: impact of surface datasets and model biogeophysics. *Climate Dynamics*, 23: 117-32.
- Rechid, D. and Jacob, D. 2006: Influence of monthly varying vegetation on the simulated climate in Europe. *Meteorologische Zeitschrift*, 15: 99-116.
- Rechid, D.; Raddatz, T.J. and Jacob, D. 2007: Parameterization of snow-free land surface albedo as a function of vegetation phenology based on MODIS data and applied in climate modelling. *Theoretical and Applied Climatology*, 95: 245-255.
- Sánchez, E.; Gaertner, M.A.; Gallardo, C.; Padorno, E.; Arribas, A. and Castro, M. 2007: Impacts of a change in vegetation description on simulated European summer present-day and future climates. *Climate Dynamics*, 29: 319-332.
- Szalai S. és Mika J. 2007: A klímaváltozás és időjárási anomáliák előrejelzése az erdőtakaró szempontjából fontos tényezőkre. 133-143. In: Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.) *Erdő és klíma V. NYME, Sopron*.
- Szépesszó, G. 2008: Regional change of climate extremes in Hungary based on different regional climate models of the PRUDENCE project. *Időjárás*, 112: 265-283.
- Vig P. 2007: Az inszoláció változásainak hatása erdeink vízháztartására. 351-360. In: Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.) *Erdő és klíma V. NYME, Sopron*.

Érkezett: 2012. április 17.

Közlésre elfogadva: 2012. szeptember 3.