Erdészettudományi Közlemények 14. évfolyam 1. szám 2024

DOI: https://doi.org/10.17164/EK.2024.04

47–61. oldal

ERDŐTELEPÍTÉSI POTENCIÁL BECSLÉSE TERMŐHELYI ADATBÁZISOK ALAPJÁN

Illés Gábor[1] és Schiberna Endre[2]

[1]*Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológiai és Erdőművelési Osztály*
[2]*Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, Ökonómiai Osztály*

Kivonat

A Kaán Károly országfásítási program keretében vizsgáltuk meg az erdőtelepítési potenciál változását hazánkban. A vizsgálatok során két klímaváltozási forgatókönyvet vettünk alapul, az RCP 4.5 és az RCP 8.5 kibocsátási előrejelzésekre alapozva. Azt határoztuk meg, hogy a gyenge minőségű szántók, a gyep-legelő, illetve a jó minőségű, de meredek szántók esetében körülbelül mekkora területek lehetnének erdősíthetők a jövőben és hogyan változik ez a lehetőség az időben. Tartósan erdősíthető területeknek azokat tekintettük, amelyek erdőtalajon találhatók, és/vagy a faállományok számára elérhető többlet vízellátással rendelkeznek, valamint a becsült fatermesztési potenciáljuk eléri legalább a IV. fatermési osztályt. Az eredmények azt mutatták, hogy jelenleg kb. 456 ezer ha erdősítésre alkalmas terület lehet a gyenge minőségű szántóterületek között, viszont ebből csak 123 ezer ha található erdőtalajokon. A gyep, ill. legelőterületekkel kiegészítve, hasonló feltételek mellett ez a szám 262 ezer ha-ra emelkedhet. A klímaváltozás hatására azonban – az egyes forgatókönyvek függvényében a vizsgált földhasználati kategóriákban – 30 évente minimum kb. 10%-kal csökken az erdősítésre alkalmas területek aránya. Ezen felül a természetvédelmi szempontok érvényesítése további területcsökkenéssel jár.

Kulcsszavak: erdőtelepítési lehetőség, klímaváltozás, fásítási program, térbeli elemzés

ASSESSING AFFORESTATION POTENTIAL ON THE BASIS OF ECOLOGICAL DATASETS

Abstract

Within the framework of the Károly Kaán national afforestation program, we examined the change in afforestation potential in our country. During the tests, we used two climate change scenarios, based on the RCP 4.5 and RCP 8.5 emission forecasts. We determined the approximate size of areas that could be afforested in the future in the case of low-quality arable land, grassland or pasture land, and good-quality but steep arable land. We also examined how this opportunity changes over time. Areas that can be afforested sustainably were considered to be those whose soil is forest soil and/or which have an additional water supply available for the stands, and whose estimated potential for timber production reaches at least the 4th yield class. The results showed that currently approx. 456,000 ha of land land may be suitable for afforestation may be among the low-quality arable land, but only 123,000 ha of this can be found on forest soils. Together with grassland and pasture areas, under similar conditions, this number can rise to 262,000 ha. However, as a result of climate change, depending on the climate change scenarios, the proportion of areas suitable for afforestation decreases by at least 10% every 30 years in the examined land use categories. In addition, the enforcement of nature conservation aspects results in a further area reduction.

Keywords: afforestation possibilities, climate change, afforestation programs, spatial analyses

Levelező szerző/Correspondence:
Illés Gábor, 9600 Sárvár, Várkerület 30/A., illes.gabor@uni-sopron.hu

BEVEZETÉS

Előzmények

Az Erdészeti Tudományos Intézeten (ERTI) belül – más kutatóhelyekhez hasonlóan – az elmúlt évek egyre intenzívebben kutatott témájává vált az egyes faállományok fatermésének termőhelyfüggő, nagy területű modellezése. E törekvések fő célja a klímaváltozási előrejelzések hatásainak vizsgálata volt, amelyhez részletes adatokra, ezen adatok validálására és a termőhely fatermési hatásainak további vizsgálatára volt szükség.

Lokális szinten Führer és munkatársai végeztek hasonló jellegű, de csak a klíma és a növekedési viszonyok összefüggésének tisztázására elemzéseket és adtak jövőre vonatkozó becsléseket (Führer et al, 2011a, 2013). Megállapították, hogy a klímaszcenárióknak megfelelően az erdészeti klímaosztályok eltolódnak, az egyes klímaosztályok növekedési viszonyai az említett szcenáriókra vonatkozóan pedig romlani fognak, illetve, hogy az ariditási index (FAI) értéke a fatermőképességgel szorosan összefügg (Führer et al, 2011b).

A klímaváltozás erdőkre gyakorolt várható hatásának becslését célzó további projektek közül a jelen tanulmány szempontjából következők számítottak mérföldkőnek. Az Agrárklíma 1 projekt 2012–2014 között Zala vármegye területére hozta létre azt a döntéstámogató rendszert, amely a jövőbeli célállományok meghatározásához a várható klímaváltozást figyelembe véve, a várható fatermés előrejelzésével tett javaslatokat (Illés et al, 2014). A Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) 2015-ben történt fejlesztésének eredményeként egy országos szintű, kis felbontású döntéstámogató rendszer jött létre, amelynek agrár modulja erdészeti célú előrejelzéseket is tartalmaz (Illés és Fonyó, 2016). Valamint meg kell említeni az Agrárklíma 2 projektet 2014–2018 között, amely az Agrárklíma 1 eredményeinek országos kiterjesztésével országos szintű, nagyfelbontású döntéstámogató rendszer jött létre az erdészeti ágazat számára (Mátyás et al, 2022).

Intézetünk 2019 és 2020 között részt vett a Kaán Károly országfásítási program (Agrárminisztérium, 2022) döntéselőkészítő munkáiban, melynek kutatási hátterét és megalapozását mutatja be ez az írás.

Kontextus

Az erdőgazdálkodás hazánkban egyszerre több kihívással néz szembe. Egyfelől megoldásokat kell keresni a klímaváltozás miatt bekövetkező, kedvezőtlen környezeti hatásokra (aszály, viharok, új károsítók, betegségek) (Hirka et al, 2024). Másfelől a romló környezeti feltételrendszer ellenére, a stratégiai céloknak megfelelően, növelni kell az erdővel borított terület nagyságát. Nem utolsó sorban pedig meg kellene felelni az egyre nyomatékosabb szakmai és társadalmi elvárásoknak, az erdőkép természetközelibb állapotát lehetővé tevő erdőművelési megoldások rendszerszintű alkalmazásával. A célok egyidejű megvalósítása klímaváltozás nélkül is nagy kihívást jelent, fokozottan így van ez a jelen helyzetben, amikor a természetközeli állapothoz elengedhetetlen klimatikus feltételrendszer drasztikusan és gyorsan változik. Ezért időszerű volt, hogy a kérdéssel foglalkozzunk és felmérjük az erdőtelepítési potenciál helyzetét Magyarországon.

Célkitűzés

A munka célja az volt, hogy adatokra építve, tudományos módszerekkel becsüljük meg a reálisan rendelkezésre álló erdőtelepítési lehetőségek mértékét hazánkban. A becslést lehetőleg területi alapon tegyük, térinformatikai környezetben is értelmezhető eredményekkel szolgáljunk. Az eredmények lehetőleg kellő részletességgel bírjanak ahhoz, hogy a későbbiekben az ágazati tervezéseknél érdemi támogatást nyújtsanak a döntésekhez.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Módszertani áttekintés

Az itt bemutatott módszer lényegében egy statisztikai eljárás, mely többváltozós becslési módszerekkel igyekszik leképezni az egyes fafajok termőhelyfüggő fatermési mintázatát. A módszer alapgondolata, hogy próbáljuk a lehető legtöbb, elsődleges megfigyelésből, vagy származtatott adatokból felépíteni azt a sztochasztikus kapcsolatrendszert, ami a fafajaink termőhelyi adottságai és fatermőképességük között fennáll. Fafajonként megismerve az abiotikus termőhelyi tényezőkre adott növekedési válaszreakciót, elvben lehetőségünk nyílik (bizonyos határokon belül) predikciókat adni a megváltozó klíma nyomán bekövetkező fatermés-változásra. Ennek révén pedig, a jövőben várható termőhelytípusainkat fafajonként kategorizálni tudjuk a jelenlegi célállomány-táblázathoz hasonló módon jó, közepes, gyenge; avagy ajánlott, még megfelelő, vagy nem ajánlott kategóriákba, akár erdőfelújítások, akár új erdőtelepítések vonatkozásában.

A módszer logikai felépítése az alábbi:

- összeállítunk egy részletes adatbázist, amely a lehető legjobban reprezentálja az ország múltbeli, jelenlegi és jövőbeni termőhelyi adottságait klimatikus, hidrológiai és talajtani tulajdonságok tekintetében
- összeállítunk egy másik adatbázist, amely a célfafajok megfelelő szempontok alapján kiválasztott állományainak fatermőképességét, fatermési osztályát és térbeli helyzetét tartalmazza
- egymáshoz rendeljük a két adatállomány térben és időben összetartozó adatait
- felépítjük a termőhely-fatermés kapcsolatot leíró statisztikai modellt
- ellenőrizzük a modell eredményeit és elkészítjük a predikciókat.

Alapfeltételek, melyeket az alkalmazáskor elfogadunk és igyekszünk biztosítani, illetve amelyek alapvetően meghatározzák a becslések alkalmazhatóságát:

- a termőhelyi adatok a valóságot tükrözik
- a fatermési adatok a valóságot tükrözik
- a klimatikus adatok megfelelően leírják a bázisidőszak klímáját
- az alkalmazott klímamodellek becslései megfelelően leírják a jövő időszakok klímáját
- a modellépítéshez használt klimatikus és termőhelyi adatok értéktartományai részben átfednek a modellezett időszakok értéktartományaival.

A termőhelyi és fatermési adatok közötti kapcsolatokat R-program, random forest algoritmus segítségével modelleztük. Az eljárás során megállapítottuk a változók fontossági sorrendjét és az ideális mennyiségű, véletlen prediktort fafajonként. Az eredményeket egy 500 döntési fából álló erdő becsléseinek valószínűségi értékei jelentették, amely alapján minden térképi ponthoz hozzárendelhető lett az adott fafaj, adott fatermési osztályának előfordulási valószínűsége. Végeredményben egy adott térképi pontot választva megkapjuk, hogy az 500 modellfuttatás eredményeként az adott ponton hány százalék a valószínűsége az akác, a bükk, a cser, …, a kocsánytalan tölgy fafajok I., II., …, VI. fatermési osztálya előfordulásának a klimatikus és termőhelyi adatok alapján. Minél homogénebb a modell becslése, annál magasabb lesz a fatermési osztály valószínűségi értéke és minél bizonytalanabb a becslés, annál inkább megoszlik a valószínűségi érték a fatermési osztályok között. A valószínűségek alapján határoztuk meg a bázisidőszaki és a modellezett időszakhoz tartozó fatermőképességi csoportok térképi elhelyezkedését és kiterjedését.

Az erdőtelepítés szempontjából értékelt földhasználati kategóriák

Az erdőtelepítési potenciálra vonatkozó adatokat ötféle területtípusra vezettük le két MEPAR felszínborítási kategórián belül. A felszínborítási kategóriák közül a szántókra, valamint a gyepekre, ill. vegyes természetközeli területekre (legelő, fás legelő) fókuszáltunk. A szántókon belül a vizsgálati területek lehatárolásához a szántóterületekre használt, agráralkalmassági kategória besorolást alkalmaztuk (Harsányi et al, 2013). Elsődlegesen minden olyan szántóterületet figyelembe vettünk, amelynek agráralkalmassági besorolása kisebb, vagy egyenlő volt, mint négy, azaz az átlag alatti területeket reprezentálják. Ezt tekinthetjük elsődleges erdőtelepítési célterületnek. Ez az egytől tízig terjedő alkalmassági skálán a leggyengébb négy kategóriát jelenti. Ez a négy kategória mintegy 851 ezer ha területet tett ki. A szántókon belül a másik lehetséges célterületként azokat a szántókat tekintettük, amelyek ugyan kedvező agrárbesorolást kaptak (5-10), de nem sík területen fekszenek (lejtés > 5 fok), vagyis egyrészt nehezebben művelhetők, másrészt nagyobb az eróziós kockázatuk. Ez a jó minőségű, de lejtős szántókat tartalmazó csoport 116,5 ezer ha-t tesz ki.

A gyep, legelő, fás legelő kategóriában összesen 1 102 ezer ha terület helyezkedik el. Ebből a területből az 5 és 10 fok közötti lejtéssel bíró terület elsősorban domb- és hegyvidékeinken található mintegy 94,4 ezer ha-on. A 10 foknál is meredekebb gyepek, legelők területe ugyanitt 16,6 ezer ha t tesz ki. Mindösszesen ez a két alkategória mintegy 111 ezer ha. Ezeket még mint erdőtelepítési tartalék területeket számításba vettük az értékelésnél.

Klimatikus adatok

A felhasznált adatok másik jelentős állományát tette ki a klimatikus adatok csoportja. Ennek alapját a Climate EU adatbázis adta (Marchi et al, 2020). Ennek az adatbázisnak a havi hőmérséklet és csapadékadatai adták az alapot az egyes jövőbeli időszakok erdészeti klímaosztály besorolásának (FAI) (Führer 2010, 2018; Führer et al., 2011c) az RCP forgatókönyvek szerint. Az ún. bioklimatikus paraméterek a fafajok növekedési modelljeihez adták a bemenő adatokat, mely modellek alapján a célállomány javaslatok egy része készült. A kiegyensúlyozott eredmények érdekében az elemzésekhez minden esetben 15 egyedi klímamodell ensemble becslésének adatait használtuk fel a klimatikus változók meghatározásához.

A talajra és a hidrológiai adottságokra vonatkozó adatok

Az erdészeti gyakorlatnak megfelelő hidrológiai kategóriák meghatározását a domborzati és talajvízszint térképek feldolgozásával határoztuk meg. A talajvíz mélységétől függő hidrológiai kategóriákat a talajvízszint adatok alapján határoltuk le. A szivárgó vizek jelenlétét a lejtőlábi domborzat kategóriák esetén valószínűsítettük, míg a változó vízellátási kategóriát az alapkőzet, a talajtípus és a fizikai féleség figyelembevételével különítettük el. A többlet-vízhatást a klímaváltozástól független tényezőnek tekintettük, mivel annak klímaváltozás-függő változására vonatkozóan nem álltak rendelkezésre a vizsgálatban is felhasználható összefüggések.

A genetikai talajtípusra, a termőréteg vastagságára és fizikai féleségére vonatkozó információkat saját fejlesztésű térképek felhasználásával rendeltük az egyes területekhez (Pásztor et al, 2018). Ezekből a térképi adatállományokból fel tudtuk építeni a vizsgálati területek termőhelytípus változat adatállományait mind a jelenlegi, mind a jövőbeli időszakokra nézve. A szántóként művelt, és jelentősen degradált termőföldeket a felhasznált adatbázis külön talajtípus kategóriákban (pl: földes váztalaj) tartja nyilván, ezért ezek megjelennek a vizsgálatokban. A szántóföldi művelés szerkezetbolygató és humuszcsökkentő hatásaira azonban az elérhető adatbázisok nem tartalmaznak adatokat, illetve ezen változások fatermésre gyakorolt hatásait sem ismerjük, ezért ezeket a tényezőket nem állt módunkban figyelembe venni.

Célállomány típusok meghatározása

Ahhoz, hogy a teljes értékelendő területre tudjunk válaszokat adni az erdősíthetőség kérdésében, ki kellett dolgozni a teljes termőhelyi spektrumra vonatkozó célállomány javaslatokat. Ismeretes a korábbi vizsgálatokból, hogy a klímaváltozás nyomán átalakulnak a termőhelyi kombinációk és a korábbi időszakokhoz képest jelentős lesz azon területek aránya, amelyekre vonatkozóan a régebbi célállomány típusok nem értelmezhetők. Szerencsés módon az egyik leginkább kockázatos termőhelyeket magába foglaló erdészeti tájcsoport, az Alföld vonatkozásában az Agrárklíma 2 projekt eljutott addig, hogy a tájcsoportban előforduló, többlet vízhatástól független termőhelyekre egy szélesebb körű szakmai egyeztetésen is átesett javaslatcsomagot dolgozzon ki (Mátyás et al, 2017). Ennek eredményeként, elsősorban az erdőssztyeppből sztyepp klímakategóriába átkerülő területekre már rendelkezünk egy elfogadott javaslatcsomaggal. Azonban a többi erdészeti tájcsoport esetében bőven akadtak még olyan termőhelyi kombinációk, amelyek esetében ki kellett dolgozni javaslatokat, illetve értékelni kellett az erdősíthetőség kérdését. Továbbá, az alföldi területeken is nyitva maradt a többlet vízhatás alatt álló területek kérdése. A feldolgozás során egy, a kérdéses termőhelyekre vonatkozó és általunk kidolgozott célállomány javaslat változatot használtunk, ami alkalmas lehet a későbbiekben további szakmai egyeztetésekre. A célállomány tervezetet úgy állítottuk össze, hogy egyrészt átemeltük a továbbra is fennmaradó termőhely típus változatok esetében már meglévő táblázatok javaslatait. Ezt a javaslatcsomagot kiegészítettük a korábban említett projekt eredményeiből létrehozott célállomány javaslatokkal. A továbbra is megválaszolatlan kombinációkra a statisztikai fatermési modellek eredményeit is figyelembe véve dolgoztunk ki szakértői becsléseken alapuló javaslatokat (Czimber et al, 2018; Illés, 2018). A becslés során vizsgáltuk, hogy egy-egy fafaj az éppen vizsgált termőhelytípus változathoz hasonló, és már értékelt termőhelytípus változatokon milyen értékelést kapott, ha volt ilyen támpont. Például:

ugyanaz a termőhelytípus egy klímaosztállyal feljebb, vagy egy termőréteg mélységi-, vagy hidrológiai kategóriával attól eltérő termőhelyen, illetve milyen eredményeket hoztak a statisztikai modellek. Bevezettünk pár egyszerű korlátozó szabályt is: sztyepp klímában váztalajok és szikes talajok esetében egyöntetűen az erdősítésre alkalmatlan kategóriát adtuk meg. Ezen felül sztyepp klímában az igen sekély és sekély termőrétegű termőhelyeket sem tekintettük erdőtelepítésre javasolható területeknek. A többlet vízhatással érintett sztyepp területeken a javasolt célállomány típusok csak a valóban meglévő vízhatás esetén jöhetnek szóba. A többlet vízhatás érvényesülésének változását a klímamodellek esetében nem tudtuk követni, mivel erre vonatkozóan nem készültek értékelések. Hasonlóan nem készültek még modellek a talajok változásáról sem, pedig az eddigi vizsgálatok szerint hosszabb távon a klíma változásával párhuzamosan a talajok változására is készülni kell (Bidló és Horváth, 2018). Vagyis, a klímán kívüli termőhelyi paramétereket jelen becslésekben stacionáriusnak feltételeztük, mely valószínűleg egy túlságosan optimista feltevés, amire a jövőben figyelemmel kell lenni és a javaslatokat ennek fényében súlyozni.

A célállomány típusokat szekvenciálisan határoztuk meg a klímamodellek időrendjében. Először feltöltöttük az egyes klímamodellek alapján előálló termőhelytípus kombinációkat a már meglévő javaslati táblák adataival. Ezután az időtávban első, enyhébb klímamodellre épülő termőhelytípus változat táblájában üresen maradt célállomány eseteket dolgoztuk fel. A feltöltött változatokkal frissítettük az időben távolabbi klímamodellek termőhelyi tábláit. Majd a rákövetkező klímamodell üresen maradt rekordjait dolgoztuk fel, amit újra feltöltöttünk a többi időszakra, és így tovább.

Miután minden egyedi termőhelytípus változat besorolása megtörtént, az egyes időszakok és forgatókönyvek által alkotott termőhelyi kombinációkhoz hozzárendeltük a megfelelő célállomány besorolásokat. Termőhelytípus változatonként váltakozva, a javasolható főfafajok száma 0 és 4 között változott. Ezekből a lehetőségekből az értékeléshez választott kétféle tematika szerint, egy az őshonos fajokat előtérbe helyező, illetve egy a fatermést preferáló súlyozással választott sorrendben választottunk egy-egy főfafajt együtt a hozzá rendelt, várható fatermési csoport (FTCS) megjelölésével.

A fatermési csoport a faállományok faanyagtermelési potenciálját jellemzi. Minél jobb ez a besorolás, annál több faanyag termelhető meg egységnyi területen, egységnyi idő alatt. A fatermési csoportok szerint három kategóriát különböztetünk meg: Az első (1) fatermési csoport a jó növekedésű, a második (2) fatermési csoport a közepes növekedésű erdőket, a harmadik (3) fatermési csoport pedig a gyenge növekedésű erdőket tartalmazza. A csoportosítás alapját az egységnyi idő alatt elért famagasság adja, amit a fafajra jellemző referencia korra adunk meg. Mivel a faállományok magassági növekedésmenete ismert, ezért egy tetszőleges korban elért famagasságot vetíteni lehet a fatermési csoportokra.

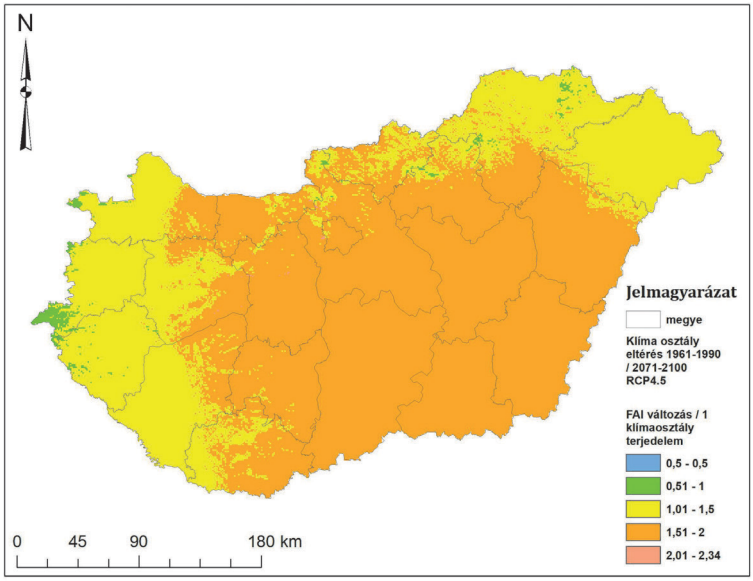
A további értékelésekhez e két szempont szerint kijelölt főfafaj és fatermési csoport opciókkal dolgoztunk. A további munkarészek kidolgozásához községhatáronként összesített terület adatokat adtunk meg termőhelytípusonként mindkét fafajválasztási szemléletnek megfelelő főfafajjal. A 2011-2040 időszak esetében ezt tovább bontottuk mindkét kibocsátási forgatókönyv esetében agráralkalmassági kategóriák szerint is.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A klímamodellek különbségei

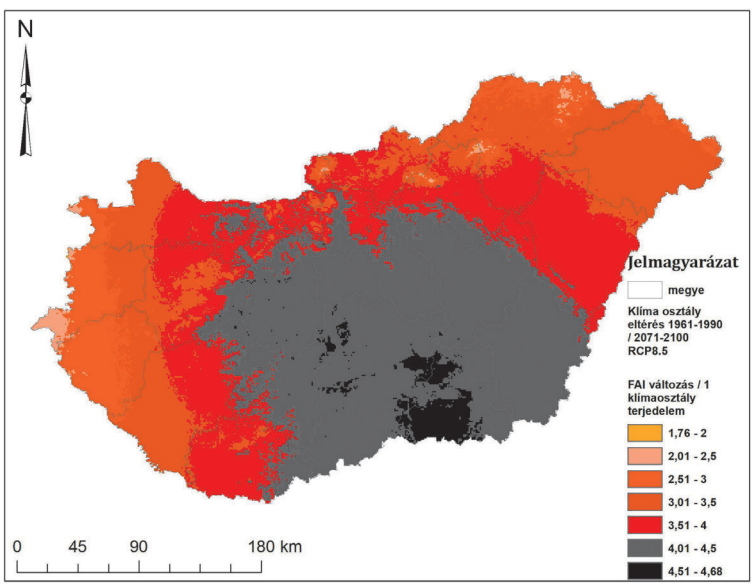
Az alábbi térképeken először bemutatjuk, hogy a klímamodell adatok alapján várhatóan hogyan változik majd az erdészeti klímaosztály besorolás jellemző értéke az országban a vizsgált időintervallumokra nézve az 1961–1990-es bázisidőszakhoz képest. A változás mértékét a makroklimatikus adatokból számolt FAI érték alapján mutatjuk be. A FAI egy erdészeti ariditási index, amely a termőterületek szárazságát erdészeti szempontból kifejező mutatószám, értéke a július-augusztus hónapok átlaghőmérsékletétől és a május–augusztus hónapok csapadékösszegétől függ (Führer, 2018). A térképeken a változás egysége megegyezik egy klímaosztály FAI értékeken vett terjedelmével (1,25 FAI egység). A térképek így azt mutatják, hogy milyen irányban és mértékben változik a klíma a jövőben. A negatív értékek a klíma humidabbá válását jelentik (a FAI érték csökken), míg a pozitív értékek a szárazodást jelzik (a FAI érték nő). Például, a térképen megjelenő 1,5-ös érték azt jelenti, hogy az adott területen másfél klímaosztálynyit változik a klíma a szárazodást jelző értékek felé. A térképek mindhárom időszakra és mindkét forgatókönyvre elkészültek, de terjedelmi korlátok miatt itt csak a század végére vonatkozó előrejelzéseket mutatjuk be forgatókönyvenként (1-2. ábra).

Az 1-2. ábrákon a század végére (2071-2100) várható klimatikus eltolódást mutatjuk be a két forgatókönyv alapján dolgozó klímamodellek előrejelzésében. Az optimista forgatókönyv szerint a század végére elsősorban Körmend térségében, a Soproni-hegységben és a Zemplénben maradhatnak számottevő területek, amelyek maximum 1 klímaosztálynyi eltolódást mutatnak majd klímájukban a bázisidőszakhoz képest. Ezt leszámítva, a Dunántúl nyugati felében és Északkelet-Magyarországon (pontosabban Szabolcsban és Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye Miskolctól északra eső területein) átlagosan 1-1,5 klímaosztálynyi eltolódás várható. A változások ilyen mértéke még mindenképpen relatíve könnyen kezelhető helyzetet teremthet az erdőgazdálkodás számára ezen a durván 7 megyényi területen belül. (Nagyjából ebbe a kategóriába eső megyék, megyerészek: Győr-Moson-Sopron vármegye nyugati kétharmada, Veszprém és Somogy vármegyék nyugati fele, Baranya vármegye nyugati egyharmada, Vas és Zala vármegye teljes területe, Pest vármegye és Komárom-Esztergom vármegye hegyvidéki területei, Nógrád és Heves vármegyék hegyvidéki területei, valamint a korábban már említett területek Szabolcs-Szatmár-Bereg és Borsod-Abaúj-Zemplén megyékből). Az ország többi területén – tehát az Alföld nagy részén és a Dunántúl keleti felén –, a változás el fogja érni a 1,5-2 klímakategóriányi eltolódást, ami jelentős kihívások elé állítja majd az erdőgazdálkodást. Főként azokon a területeken, ahol a jelenlegi legrosszabb klímaosztálynál két kategóriával kedvezőtlenebb feltételek állnak elő. Végül, bár túl sok realitás nincs ennek taglalásában, meg kell említeni, hogy a pesszimista forgatókönyv alapján a század végére nem várható olyan terület az országban, ahol a klímaeltolódás enyhébb lenne a két klímaosztálynál kisebb értéknél. Az ország durván 90%-án az eltolódás mértéke nagyobb lesz, min 2,5 klímaosztály. Fejér, Tolna, Bács-Kiskun, Jász-Nagykun-Szolnok, Csongrád-Csanád és Békés vármegyék teljes területén, valamint Pest vármegye Budapesttől délre eső területein a változás mértékét a modellek négy klímaosztálynál is nagyobbra becsülik. Bács-Kiskun vármegye egyes részein és Csongrád-Csanád vármegye körülbelül felén még ennél is nagyobb, 4,5 klímaosztályt meghaladó változásokat vetítenek előre a pesszimista forgatókönyv modelljei.



1. ábra: *Az 1961–1990-es bázis időszakhoz viszonyított klímaosztály változás 2071–2100 között az RCP 4.5 forgatókönyv szerint*

Figure 1: *Climate class change by 2071–2100 compared to the base period of 1961–1990 according to the RCP 4.5 scenario*



2. ábra: *Az 1961–1990-es bázis időszakhoz viszonyított klímaosztály változás 2071–2100 között az RCP 8.5 forgatókönyv szerint*

Figure 2: *Climate class change by 2071–2100 compared to the base period of 1961–1990 according to the RCP 8.5 scenario*

Összességében azt tudjuk leszűrni, hogy a 4.5-ös kibocsátási forgatókönyvnél nem rosszabb klímaváltozási pálya esetén reális esély lehet az észszerű erdőgazdálkodási tevékenység fenntartására, de ehhez is jelentős alkalmazkodási lépéseket kell tenni. A 8.5-ös forgatókönyv megvalósulása katasztrofális hatással lenne az erdőgazdálkodásra, és még azzal szemben is komoly kétségeket vet fel, hogy mekkora területen lehetne egyáltalán fával borított élőhelyeket fenntartani az országban.

Fontos kiemelni, hogy a jelenleg kidolgozott (elődolgozott) célállomány javaslatok a jelenlegi legrosszabb – erdőssztyepp – klímakategóriánál is csak eggyel gyengébb klimatikus körülményekre adnak becslést. Úgy gondoljuk, hogy ennél nagyobb léptékű változásokhoz jelen ismeretek alapján csak nagyon spekulatív célállomány javaslatok lennének rendelhetők. Mivel azonban az optimistább előrejelzések alapján is valószínűsíthető, hogy már e század közepére főként Bács-Kiskun, Fejér és Csongrád Csanád megyék, valamint kisebb mértékben Pest és Jász-Nagykun-Szolnok vármegyék területe is kívül fog esni a jelenleg felölelt klimatikus tartományon, ezért elengedhetetlen, hogy a jövőben alkalmazható fafajok és fajták kutatása folytatódjon. Annál is inkább, mert a pesszimista forgatókönyv esetén már középtávon is kifutunk a most megújuló célállomány javaslatok által lefedett klimatikus tartományból.

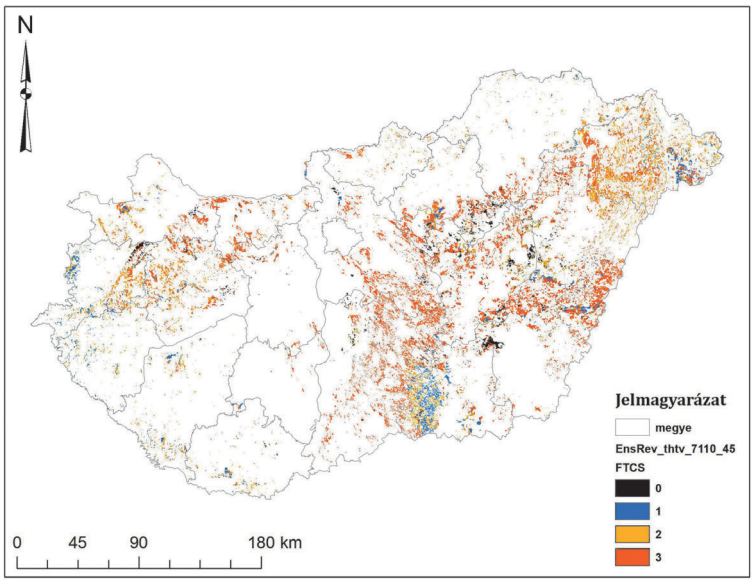
A fatermési viszonyok értékelése

Az eredmények értékelésénél és megjelenítésénél, a módszertanban már említett, kétféle szemlélet alapján választott főfaj kombinációkat elemeztünk. Az egyik megközelítésben az őshonosságot előtérbe helyező fafajválasztásra törekedtünk: előnyben részesítettük az őshonos, és a hosszabb életciklusú fafajokat. A másik megközelítésnél a fatermesztést tettük elsődlegessé és ez esetben az ültetvényesen termeszthető fafajokat, vagy az igénytelenebb fafajokat részesítettük előnyben és nem volt elsődleges szempont az őshonosság. Jelen tanulmányban a természetközelibb változathoz tartozó eredményeket ismertetjük. Térképi formában csak a 2071–2100 időszakot mutatjuk be a két forgatókönyv szerint, de táblázatos formában a terület összesítéseket mindegyik időszakra bemutatjuk.

Az alacsony agráralkalmasságú szántók fatermése

Az eredmények azt mutatták, hogy bármelyik klímaváltozási forgatókönyv valósul meg, az idő előrehaladtával az erdőgazdálkodás pozíciói – már ami az erdők növekedését és erre alapulva azok gazdasági teljesítőképességét illeti – romlani fognak. Azonban korántsem mindegy, hogy melyik forgatókönyv valósul meg (3. és 4. ábrák). Az RCP 4.5-ös forgatókönyv esetén a század végére, az alacsony alkalmasságú szántók erdősítésével 282 142 ha új erdőt lehetne létrehozni az első két fatermési csoportban. Ugyanakkor az RCP 8.5-ös szcenárió esetén csak 40 008 ha ilyen adottságú terület marad, és a két adat között több, mint kétszázezer hektár különbség van. Ha a 8.5-ös forgatókönyvvel az általános reménytelensége miatt nem számolunk, akkor is figyelembe kell venni az ágazati, hosszú távú tervezésnél, hogy az idő előrehaladtával romlanak a környezeti feltételek. A 2040-ig tartó időszakban még 456 ezer ha területi potenciál áll rendelkezésre erdőtelepítésre a jó növekedési kategóriákban. Ez a szám a 2041-2070 közti időszakban már csak 316 ezer ha lesz, és a század végére elérünk a 282 ezer ha-ig (1. táblázat). Ennek megfelelően azokat a területeket, amelyek várhatóan megőrzik a jó növekedési potenciáljukat hosszabb távon is, ennek az időtávnak

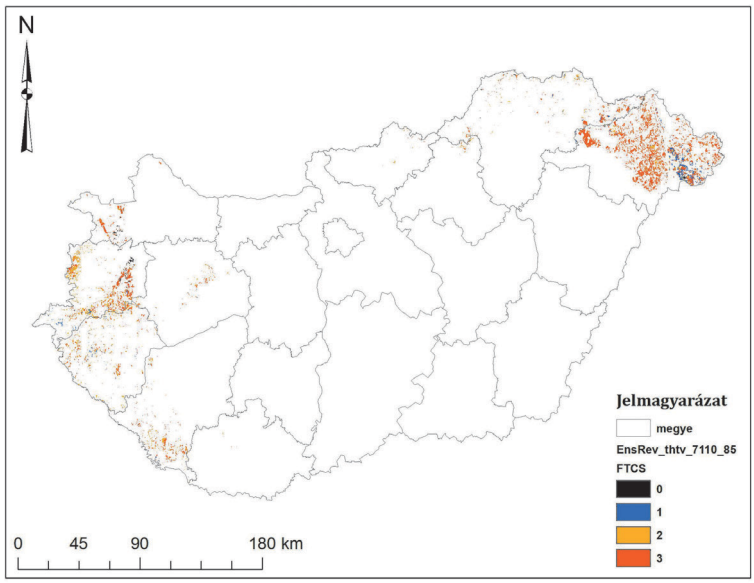
megfelelő, hosszú életű fajokkal érdemes erdősíteni. A várható élettartamot figyelembe véve, a ma még jó, de gyorsan leromló adottságú területeket gyors növekedésű fajokkal kellene hasznosítani, amit később véderdővé lehet alakítani, ha már fatermesztési célra nem alkalmas.



3. ábra: *A fatermési csoportok területi becslése 2071–2100 között az RCP 4.5 forgatókönyv (EnsR_thtv_7110_45) szerint (FTCS: fatermési csoport; 0: erdősítésre alkalmatlan; 1: jó; 2: közepes; 3: gyenge)*
Figure 3: *Spatial estimation of the extent of yield groups according to scenario RCP 4.5 (EnsRev_thtv_7110_45) for the period 2071–2100 (FTCS: abbr. for yield group; 0: not suitable for afforestation; 1: good; 2: medium; 3: poor)*

1. táblázat: *Az egyes időszakokra becsült fatermési csoport területek forgatókönyvenként (alacsony alkalmasságú szántók)*
Table 1: *Calculated area of yield groups by scenarios for the study periods (low quality arable lands)*

Forgatókönyv	**RCP 4.5 (területek ha-ban)**			**RCP 8.5 (területek ha-ban)**		
Fatermés csop.	2011–2040	2041–2070	2071–2100	2011–2040	2041–2070	2071–2100
FTCS-1	84 033	92 481	84 995	88 663	50 326	12 397
FTCS-2	372 098	224 298	197 147	404 896	136 434	27 611
Erdőtelepítésre javasolt összesen	**456 131**	**316 779**	**282 142**	**493 559**	**186 760**	**40 008**
FTCS-3	367 302	485 105	491 741	338 022	315 944	107 610
Alkalmatlan	28 090	49 639	77 640	19 942	348 819	703 905
Erdőtelepítésre nem javasolt összesen	**395 392**	**534 744**	**569 381**	**357 964**	**664 763**	**811 515**
Összes terület	**851 523**	**851 523**	**851 523**	**851 523**	**851 523**	**851 523**



4. ábra: *A fatermési csoportok területi becslése 2071–2100 között az RCP 8.5 forgatókönyv (EnsRev_thtv_7110_85) szerint (FTCS: fatermési csoport; 0: erdősítésre alkalmatlan; 1: jó; 2: közepes; 3: gyenge)*
Figure 4: *Spatial estimation of the extent of yield groups according to scenario RCP 8.5 (EnsRev_thtv_7110_85) for the period 2071–2100 (FTCS: abbr. for yield group; 0: not suitable for afforestation; 1: good; 2: medium; 3: poor)*

A jó minőségű, de meredekebb szántók fatermése

Ezek a területek meglehetősen szórtan helyezkednek el az országban, ezért itt térképi ábrázolásuktól eltekintünk. Érdemes azonban megjegyezni, hogy területileg leginkább Zala, Somogy, Tolna, Komárom-Esztergom, Nógrád és Borsod-Abaúj-Zemplén megyékben található az ilyen jellegű területek zöme. Az egyes fatermési csoportok területét szcenáriónként és időszakonként a 2. táblázatban összesítettük. Mivel a jó szántók és a gyepek esetében csak kiegészítő területbecslésről van szó, ezt a két kategóriát csak a jelenlegi és középtávú becslésekben összesítettük a területi kimutatásokban.

A 2. táblázat adatai alapján azt lehet leszűrni, hogy az első két fatermési csoportban az erdősíthető területek kiterjedése a jó, de meredekebb szántók esetében is csökkenő tendenciát fog mutatni a jövőben. Ugyanakkor a leggyengébb fatermési csoport területe, illetve az erdősítésre alkalmatlan területek nagysága folyamatos növekedést mutat. Az RCP 4.5-ös szcenárió alapján ebben a kategóriában a jobb növekedésű erdők területe a kezdeti 74,5 ezer ha-ról 52 ezer ha-ra csökken. Míg az RCP 8.5 forgatókönyv alapján ugyanez az érték 86,2 ezer ha szemben a 37,5 ezer ha-ra. Tartósan tehát ebben a kategóriában valahol 40 és 50 ezer ha közötti területnagysággal lehet számolni, mint gazdasági erdő lehetséges élettere.

2. táblázat: *Az egyes időszakok fatermési csoport területei forgatókönyvenként (jó minőségű, meredekebb szántók)*
Table 2: *Area of yield groups by scenarios for the study periods (good quality, steep arable lands)*

Forgatókönyv	RCP 4.5 (területek ha-ban)			RCP 8.5 (területek ha-ban)		
Fatermés csop.	2011–2040	2041–2070	2071–2100	2011–2040	2041–2070	2071–2100
FTCS-1	31 115	21 293	–	39 085	12 626	–
FTCS-2	43 407	30 695	–	47 092	24 844	–
Erdőtelepítésre javasolt összesen	**74 522**	**51 988**	**–**	**86 177**	**37 470**	**–**
FTCS-3	33 922	50 796	–	24 197	62 355	–
Alkalmatlan	8 103	13 763	–	6 173	16 722	–
Erdőtelepítésre nem javasolt összesen	**42 025**	**64 559**	**–**	**30 370**	**79 077**	**–**
Összes terület	116 547	116 547	–	116 547	116 547	–

Az öt foknál meredekebb lejtésű gyep, legelő és fás legelőterületek fatermése

Ezek a területek is viszonylag sporadikusan helyezkednek el az országon belül, de súlypontjukat tekintve egyértelműen az Északi-középhegységben jellemzőbb ez a területi kategória. Érdemes kiemelni, hogy míg az 5 és 10 fok közötti lejtőkategóriában találunk legelőket a Dunántúlon is, addig a 10 fokos lejtésnél meredekebb legelőterületek javarészt Észak-Magyarországon fordulnak elő. A gyep, legelő, fás legelő kategóriában az 5 foknál meredekebb területek fatermési csoportjait a 3. táblázatban foglaltuk össze.

Az 5 foknál meredekebb gyep, legelő és fás legelő kategóriában az RCP 4.5 forgatókönyv alapján, rövidtávon mintegy 81 ezer ha, míg középtávon 63,5 ezer ha területi potenciál van az első két fatermési csoportba sorolható erdőterületek létrehozására. Ugyanezek a számok az RCP 8.5 forgatókönyv esetén 84,2 ezer ha, szemben a 48,1 ezer ha-al. Tehát a két forgatókönyv átlagában valahol 50 és 60 ezer ha körül lehet ezen területkategórián belül az erdősíthetőségi potenciál.

Fontos figyelemmel lenni arra, hogy a modelljeink alapján milyen jelentős mértékben növekszik az idő előrehaladtával az erdősítésre alkalmatlan területek aránya. Az RCP 4.5 alapú előremetszésekben a gyenge szántók esetén ez a szám a 3% és a 7% között változik. A jó, de meredek szántók esetében 7% és a 12%, míg a gyep-legelő kategóriában a 4% és a 6,5% között ingadozik. Az RCP 8.5 forgatókönyv esetén ugyanezekben a kategóriákban és ugyanebben a sorrendben: 2,5-8%; 5,3-14,3%; és 8-9,4%. Nem túlzás azt állítani, hogy 30 évente 5-10%-al zsugorodik az erdősítésre alkalmas területek nagysága.

További tényező, amit a döntéshozatalnál figyelembe kell venni, hogy ez csupán az erdészeti szempontú megközelítéssel meghatározott területi potenciál. Ezt jelentősen módosíthatja akár a szűkebben vagy tágabban értelmezett természetvédelem szempontrendszere, valamint leginkább a mezőgazdasági ágazat érdekei.

3. táblázat: *Az egyes időszakok fatermési csoport területei forgatókönyvenként (gyep, legelő, fás legelő 5 fok lejtés felett)*
Table 3: *Area of yield groups by scenarios for the study periods (grasslands, pastures, and wooded pastures steeper than 5 degrees)*

Forgatókönyv	RCP 4.5 (területek ha-ban)			RCP 8.5 (területek ha-ban)		
Fatermés csop.	2011–2040	2041–2070	2071–2100	2011–2040	2041–2070	2071–2100
FTCS-1	37 432	22 806	–	42 102	9 811	–
FTCS-2	43 528	40 689	–	42 076	38 327	–
Erdőtelepítésre javasolt összesen	**80 960**	**63 495**	**–**	**84 178**	**48 138**	**–**
FTCS-3	25 418	40 254	–	18 102	52 383	–
Alkalmatlan	4 629	7 258	–	8 727	10 486	–
Erdőtelepítésre nem javasolt összesen	**30 047**	**47 512**	**–**	**26 829**	**62 869**	**–**
Összes terület	111 007	111 007	–	111 007	111 007	-

ÖSSZEFOGLALÁS – AZ ERDŐTELEPÍTÉSRE RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ POTENCIÁLIS TERÜLET MEGHATÁROZÁSA

Összefoglalóan azoknak a szántóterületeknek az erdőtelepítésre való alkalmasságát valószínűsítjük, amelyek a mezőgazdasági termelésre való alkalmasság szempontjából 1-4 kategóriába tartoznak (rosszabb adottságú szántók), a rajtuk létrehozható faállomány I–IV FTO szerinti növekedés elérésére képesek, (a „jó” és “közepes” fatermési csoportba tartoznak) és erdőtalajon állnak. Ezt a besorolást maximális területként kell értelmezni, az erdőtelepítések tényleges megvalósulására lényegi ráhatása van a földtulajdonosok szándékainak, a földhasználati politikai irányelveknek és az ezek érvényesítését szolgáló jogszabályi kényszereknek és ösztönzőknek.

A fentiek alapján lehatárolt területek jelentősebb arányban az Alföldön és a Dunántúlon helyezkednek el. A szántó művelési ág 1-4 mezőgazdasági művelési alkalmasság kategóriákban a teljes vizsgált terület összesen 851 521 ha. A 2011–2040 közötti időszakra előrevetített termőhelyi feltételek alapján (a 2040 utáni klímaváltozási hatásokkal nem számolva) 456 130 ha területen lehet fatermesztésre is alkalmas erdőt létrehozni. Azaz a termőhelyi osztályozás alapján javasolható faállomány növekedése az I–IV. FTO közé esik. Az V–VI. FTO kategóriákat csak különösen indokolt esetben érdemes létrehozni, és számolni kell azzal, hogy hosszú távú fenntartásuk még állandó termőhelyi feltételek esetén is további finanszírozást tesz majd szükségessé.

A talaj- és a klímaadottságok alapján az erdők természetes előfordulási helyének tekintjük azokat a termőhelyeket, amelyek genetikai talajtípusa az erdőtalajok valamelyik csoportjába (kőzethatású erdőtalajok, barna erdőtalajok, mocsári és ártéri erdőtalajok) tartozik, és erdők számára alkalmas klímában találhatók. Erdő termőhelyként fogadjuk el azokat a termőhelyeket is, amelyek erdőssztyepp klímában kialakuló erdőtalajon vannak, tekintettel arra, hogy e klímában többletvízhatás szükséges az erdők fennmaradásához, és feltételezzük, hogy ezek a vízforrások jelenleg is elérhetők. A fa-

termesztésre alkalmas területeken belül 122 628 ha tekinthető az erdők természetes előfordulási helyének. (4. táblázat)

Ugyanezen kritériumok alapján értékeltük a mezőgazdasági hasznosításra való alkalmasság szerinti 5-ös vagy magasabb kategóriába tartozó, de 5°-nál nagyobb lejtésű szántókat, illetve a gyep, legelő hasznosítású földterületeket is. Ezekkel kiegészítve az alacsony agráralkalmasságú szántók területét, a fatermesztésre is alkalmas (I–IV. FTO-ba eső) faállományok létrehozására alkalmas területből 262 944 ha esik az erdők természetes előfordulási helyére. Ugyanakkor különösen a gyepterületek esetében fontos szem előtt tartani a természetvédelmi szempontokat. Az erdősítésre alkalmas területek rendelkezésre állását ezen szempontok jelentősen korlátozhatják, és a potenciális területet csökkenthetik.

4. táblázat: *1-4 mezőgazdasági alkalmassági kategóriába eső szántók területi bontása erdőtalajok és erdészeti klímakategóriák szerint, amelyeken létrehozható fatermesztésre is alkalmas állomány*

Table 4: *Territorial breakdown of fields falling into agricultural suitability categories 1-4 according to forest soils and forest climate categories, on which stands suitable for tree cultivation can be created*

Erdészeti klímaosztályok	Talaj jellege		Összesen
	erdőtalajok	nem erdőtalajok	
B	482	2	484
GYT	28 707	3 854	32 561
KTT-CS	76 723	112 572	189 295
ESZTY	16 716	208 964	225 680
SZTY	222	7 888	8 110
Összesen	***122 850***	***333 280***	***456 130***

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A vizsgálat az Agrárminisztérium Kaán Károly Országfásítási programjának keretében valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Agrárminisztérium Sajtóiroda, 2022. március 23.: Az országfásítási program újabb állomáshoz ért. https://kormany.hu/hirek/az-orszagfasitasi-program-ujabb-allomashoz-ert

Bidló A. & Horváth A. 2018: Talajok szerepe a klímaváltozásban. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 57-71.

Czimber K., Mátyás Cs., Bidló A. & Gálos B. 2018: A „Járó-tábla" (avagy az egyes termőhelytípusokon alkalmazható célállományok és azok növekedésének) közelítése gépi tanulási módszerrel. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 93-103.

Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. „KLÍMA-21" Füzetek 61: 98-107.

Führer E., Marosi Gy., Jagodics A. & Juhász I. 2011a: A klímaváltozás egy lehetséges hatása az erdőgazdálkodásban. Erdészettudományi Közlemények 1(1): 17-28.

Führer E., Horváth L., Jagodics A., Machon A. & Szabados I. 2011b: Az erdészeti klímaosztályok területének várható változása a Nagyalföldön. AEE Kutatói Nap, Sopron, konferencia kötet, 24-28.

Führer E., Horváth L., Jagodics A., Machon A. & Szabados I. 2011c: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. Időjárás 115(3): 205–216.

Führer E., Jagodics A., Juhász I., Marosi Gy. & Horvath L. 2013: Ecological and economical impacts of climate change on Hungarian forestry practice. Időjárás 117(2): 159-174.

Führer E. 2018: A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 27-42. https://doi.org/10.17164/EK.2018.002

Harsányi E., Juhász Cs. & Nagy A. 2013: Földhasználat és tájgazdálkodás. Debreceni Egyetem. ISBN 978-963-473-687-5.

Hirka A., Koltai A. & Gyóka Gy. 2024: Magyarországi erdőkárok 2022-ben a kárjelentések alapján. Növényvédelem 60(1): 1-7.

Illés G. & Fonyó T. 2016: A klímaváltozás fatermésre gyakorolt várható hatásának becslése az AGRATéR projektben. Erdészettudományi Közlemények 6(1): 25-34. https://doi.org/10.17164/EK.2016.003

Illés G., Kollár T., Veperdi G. & Führer E. 2014: A zalai faállományok magassági növekedésének és fatermésének kapcsolata a termőhelyi tényezőkkel. Erdészettudományi Közlemények 4(2): 77-89.

Illés G. 2018: A klímaváltozás nyomán bekövetkező fatermésváltozás becslése a kocsánytalan tölgy példáján Erdészettudományi Közlemények 8(1): 105-118.

Pásztor L., Laborczi A., Bakacsi Zs. Szabó J. & Illés, G. 2018. Compilation of a national soil-type map for Hungary by sequential classification methods. Geoderma 311: 93-108.

Marchi M., Castellanos-Acuna D., Hamann A., Wang T., Ray D. & Menzel A. 2020: ClimateEU, scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe. Scientific Data 7: 428. https://doi.org/10.1038/s41597-020-00763-0

Mátyás Cs., Bidló A., Czimber K., Gálos B., Gribovszki Z., Führer E., Illés G. & Borovics A. 2022: A klímaváltozáshoz alkalmazkodás támogatása az erdészetben: Az Agrárklíma döntéstámogató rendszer. Légkör 67(1): 4-11.

Mátyás Cs., Berki I., Bidló A., Csóka Gy., Czimber K., Illés G. & Führer E. 2017: A célállományrendszer aktualizálása a döntéstámogató rendszerben. Erdészeti Lapok 152(11): 346-352.

Érkezett: 2022. 10. 05.
Közlésre elfogadva: 2024. 09. 29.