



A klímaváltozáshoz alkalmazkodás támogatása az erdészetben: Az Agrárklíma döntéstámogató rendszer

Mátyás Csaba¹, Bidló András¹, Czimber Kornél¹, Gálos Borbála¹, Gribovszki Zoltán¹, Führer Ernő², Illés Gábor², Borovics Attila²

¹SoE Erdőmérnöki Kar, matyas.csaba@uni-sopron.hu

²SoE Erdészeti Tudományos Intézet

DOI: 10.56474/legkor.2022.1.1

A klíma gyors változása az erdőgazdálkodás számára nagy kihívás a hosszú termesztési ciklus miatt. Mára a korábban változatlanok tekintett termőhelyi potenciált dinamikus változó tényezőként kezeli az erdőtervezés. Az Agrárklíma döntéstámogató rendszer (DTR) ehhez nyújt háttérinformációt. Az előre-tetítési időszak választható és a század végéig terjed. A DTR javaslatot tesz fafajválasztásra, becslést ad a várható hozamra és előalkalmazkodott szaporítóanyag-forrásokat is azonosít. A térinformatikai rendszer gazdálkodási terület egységre lebontva szolgáltat múlt- és jövőbeli adatot az erdőről. Webes felülete kapcsolható térképi rétegekkel rendelkezik (pl. domborzat, klíma, talaj), térbeli felbontása 1 ha.

Assistance for adaptive management in forestry: the Agrárklíma decision support system

Rapid climate change poses a huge challenge for forestry due to the length of the production cycle. Considered earlier as a static value, the site potential has become a dynamic factor in forest planning. The Agrárklíma decision support system provides background data for estimations. The system proposes suitable tree species, estimates their yield potential and identifies also sources of preadapted populations. Reference climate periods may be selected until 2100. The geoinformatic system provides forest-related data of the past and future by land use units (compartments), based on background maps of 1 ha resolution (geography, soil, climate, hydrology etc.).

Bevezetés

A természetes vegetáció, főleg az erdő megjelenési formája Alexander von Humboldt (1806) óta a klímazónák jellemzésének fontos eszközévé vált. A klímára érzékeny fafajok elterjedési mintázata jól leképezi a klíma változatoságát a Kárpát-medence sík- és dombvidékein is. Valamennyi klíma- ill. erdőzónát jellemző, domináns fafajunk,

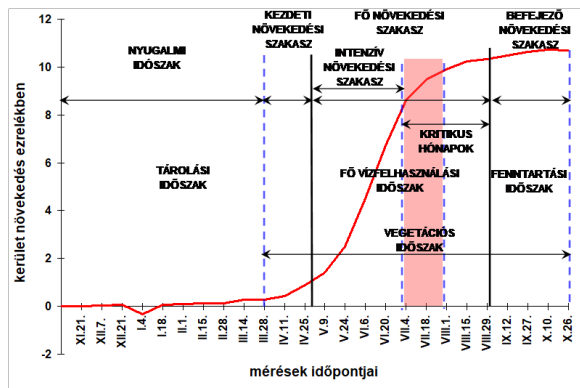
a bükk, a kocsánytalan tölgy, a gyertyán és a cser, az országhatáron belül eléri elterjedése alsó, azaz a szárazsági határát. Nem meglepő ezért, hogy Magyarországon a termőhelyi potenciál meghatározásának, és az erdészeti tervezésnek alapvető eleme az ún. „erdészeti klímaosztály”, ami csaknem 60 éve segíti az erdőtelepítés és -felújítás fafajválasztását és a várható hozam becslését.

A klíma változása az erdészet jelenleg legnagyobb kihívása: az ökológiai és gazdasági fenntarthatóság bizonytalanná vált (Führer et al., 2013; Mátyás et al., 2018). Már az elmúlt évszázad közepe óta kimutatható a zónahatárok elmozdulása klímaérzékeny fafajaink esetében. Világszerte, és Magyarországon is komoly társadalmi visszhangot váltottak ki az utóbbi néhány évtized egyre növekvő erdőkárai (Csóka et al., 2012), amelyek fő kiváltója már bizonyítható módon a klíma megváltozása. Az eddig változatlanok tekintett termőhelyi potenciál az éghajlati zónák eltolódása miatt dinamikusan változó tényezővé vált. Az Agrárklíma DTR a jövőbeni állapot megítéléséhez nyújt háttérinformációt, a tervező és a gazdálkodó számára egyaránt. A változások különösen kritikusak a szárazodással legjobban érintett alföldi területeken, ahol a klíma mellett a hidrológiai viszonyok változása az erdőtenyészet határát jelentősen korlátozni fogja. A tanulmány első része a DTR létrehozását szükségessé tevő *környezeti változásokkal és a jellemzéshez használt lefontosabb klímaindex-szel* ismerteti meg az olvasót.

A termőhelyi potenciált meghatározó klimatikus és hidrológiai tényezők és a változások hatása a hazai erdőtakaróra

A termőhelyi potenciál klimatikus feltételeinek jellemzése a FAI index-szel

A klímaindikátorként kezelt (zonális) fafajok mellett, a termőhelyi feltételek klimatikus jellemzésére korábban egyetlen klímátényező szolgált, a júliusi 14 órás átlagos relatív páratartalom (Járó, 1972). A klíma dinamikus változása miatt elsősorban a nedvességhiány, illetve az aszálystressz pontosabb meghatározására van szükség. Ehhez figyelembe kell venni a faállományok növekedési és egészségi állapotát elsősorban befolyásoló időszakok (fő növekedési szakasz: V-VIII. hó; kritikus periódus: VII-VIII. hó) részletesebb adatait (1. ábra). A fiziológiai alapon meghatározott, egyszerűsített erdészeti szárazsági mutató (Forestry Aridity Index: FAI) olyan meteorológiai jellemzőket vesz figyelembe, amelyeket az országban hosszú idő óta, sok helyen



1. ábra. Erdői fafajok általánosított növekedési görbéje az öko-fiziológiai (vízfelhasználási) szempontból fontos periódusok bemutatásával (Führer, 2018).

rögzítenek, és amelyek térben és időben jól modellezhetők (Führer, 2010, 2018; Führer et al., 2011). A FAI képlete:

$$FAI = 100 * T_{\theta(VII-VIII)} [C^{\circ}] / P_{(V+VI+2VII+VIII)} [mm],$$

ahol $T_{\theta(VII-VIII)}$ a kritikus hónapok átlaghőmérséklete, $P_{(V+VI+2VII+VIII)}$ a fő növekedési periódus csapadékösszege, melyben a legmelegebb és legalacsonyabb páratartalmú július csapadéka súlyozva szerepel.

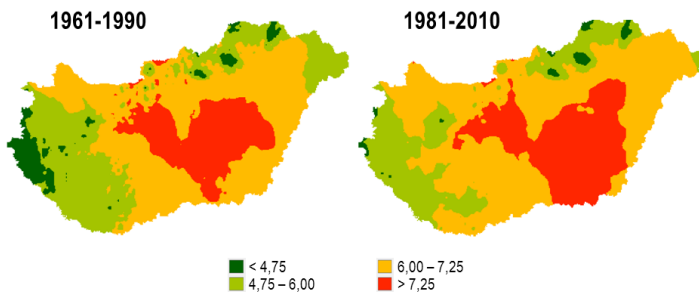
Az 1961-től 2010-ig tartó meteorológiai mérések adatbázisára, továbbá a magyarországi zonális fafajú (klímához kötött) faállományok elterjedésére építve meghúzhatjuk az erdészeti klímaosztályok határait. E szerint a klíma

- bükkös (B), ahol a FAI értéke 4,750, vagy az alatti,
- gyertyános-tölgyes (GyT), ahol a FAI értéke 4,751 és 6,000 közötti,
- kocsánytalan tölgyes, ill. cseres (KTT-CS), ahol a FAI értéke 6,001 és 7,250 közötti, és
- erdős-sztyep (ESZTY), ahol a FAI értéke nagyobb, mint 7,250.

Természetesen egy adott erdőrészlet klímabesorolásánál az eltérő mezo- és mikroklimatikus adottságok miatt figyelembe kell venni a klímaperiódus alatti időjárás évenkénti változékonyságát és a szélsőséges események előfordulásának gyakoriságát is.

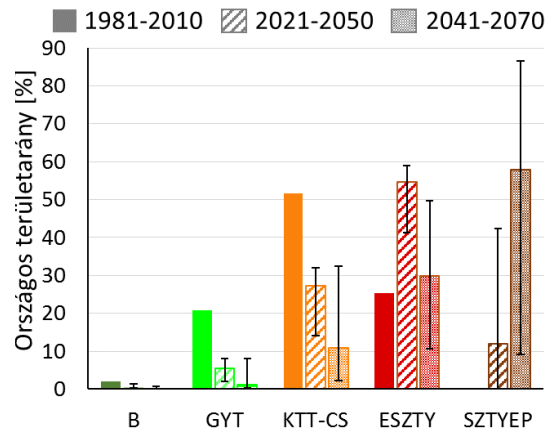
A klímaváltozás hatásai a klímaosztályok területi megoszlására

Az erdészeti szárazsági index (FAI) alapján az 1961–1990-es időszakban az ország területének még 5,5%-a bükkös, 28,9%-a gyertyános-tölgyes, 46,5%-a kocsánytalan tölgyes ill. cseres és 19,1%-a erdős-sztyep klímájú volt. 20 évvel később, az 1981-től 2010-ig terjedő időszakban a változás egyértelműen kedvezőtlen irányú. Amíg a bükkös klímakategória aránya 2,1%-ra, a gyertyános-tölgyesé pedig 21%-ra csökkent, addig a kocsánytalan tölgyes ill. cseres klímaosztály területe 51,8%-ra, az erdős-sztyepé pedig 25,1%-ra növekedett (2. ábra).



2. ábra. Erdészeti klímaosztályok eltolódása az 1961-1990 és az 1981-2010 időszakok átlagos FAI-értékei alapján. Magyarázat a szövegben (Führer, 2018).

Az A1B kibocsátási forgatókönyv feltételezésével a 21. századra futtatott modellek átlagos előrebecsléseit a 3. ábra mutatja. Eszerint drasztikusan csökken a bükkös, a gyertyános-tölgyes és a kocsánytalan tölgyes, illetve cseres klímaosztályok területe, míg az erdős-sztyep klímaosztályé jelentősen nő. E helyzetképet tovább rontja, hogy az eddigi erdőült klímaosztályok területéből a 2021–2050-es időszakra több mint 10%-nyi, a 2041–2070-es időszakra pedig csaknem 60%-nyi már a sztyep klíma megjelenését vetíti előre (Gálos és Führer, 2018). A sztyep klímaosztály erdőtervezéséhez viszont tudni kell, hogy ha ott a természetbe vont fafajok számára egyéb vízforrás nem áll rendelkezésre, akkor a mai erdészeti fogalmaknak megfelelő erdőtakaró fenntartása kétségesse válhat.



3. ábra. Az erdészeti klímaosztályok országos területaránya 1981-2010-ben (telt oszlopok), valamint az A1B kibocsátási forgatókönyv szerinti modellszimulációk eredményei két időszakra (mintás oszlopok). Hibasávok: a modellelérémények 66%-a (Gálos - Führer, 2018).

Az erdőket érintő hidrológiai változások

Az elmúlt évtizedek klimatikus változásai egyre gyorsuló ütemben módosítják a hidrológiai ciklust, valamint a vízkészletek állapotát (Nováky és Bálint, 2013). Az erdős-sztyep és sztyep klímájú területek terjedése meg fogja növelni a többletvízformák jelentőségét, és ezek jelenlegi 20%-os részaránya a jövőben várhatóan csökkenni fog. A többletvizek közül kiemelten fontos kérdés a talajvízviszonyok változása. Az 1960-as évekre vonatkozó modellezéssel előállított talajvíztérképpel összehasonlítva a jelent (Kovács et al., 2015) megállapítható, hogy középhegységünkben a lejtők lábánál és a mélyebb völgyekben a szivárgó vízü termőhelyek területe a jövőben tovább fog csökkenni. A síksági területeinken jellemzően 0–1 m közötti talajvízszint csökkenés jelentkezhet (a Duna-Tisza közén ennél lényegesen nagyobb értékeket mértek). A csökkenés a talajvíztől függő erdők hidrológiai viszonyait valószínűleg átrendezi: már fél méteres változás is kategóriaváltást jelenthet. Mindamelllett, a talajvízszint becslése soktényezős és bizonytalan, a klimatikus hatások és a felszínborítás változás mellett a mesterséges vízkivételeknek igen nagy jelentősége van (Pálfai, 2010).

A többletvízhatástól független termőhelyek vízgazdálkodását elsősorban a talajok víztározóképessége (mechanikai összetétel) és a termőréteg

mélysége befolyásolja a jövőben is. Utóbbi esetében a gyökérmélység és annak lehetséges növekedése kulcskérdés lehet.

Az Agrárklíma DTR alkalmazása az erdészeti gyakorlatban

Az Agrárklíma DTR célkitűzései és működése

Az elmúlt évtizedekben számos országban fejlesztettek ki erdészeti döntéstámogató rendszereket (DTR). Ilyen DTR-nek tekinthető a Járó Z. (1972) koncepciója alapján kidolgozott, évtizedek óta alkalmazott szakértői rendszer is (Wisnovszky, 2005). Az Agrárklíma erdészeti DTR-fejlesztés egy olyan stratégiai és dinamikus rendszer kialakítására irányul, amely képes a rendelkezésre álló termőhelyi és hozam adatok alapján előrebecsülni a jövő feltételeit, hogy az adott helyszínen biztonságosan termeszthető fajok, populációk kiválasztásával és hozamuk előrejelzésével segítse a gazdálkodókat (Mátyás, 2017). A webes fejlesztés lehetővé teszi a tájékozódást a kockázatok megítélésében, alkalmazkodási és kárenyhítési stratégiák megválasztásában, helyi és országos szinten egyaránt. A moduláris felépítés (4. ábra) alkalmat nyújt a felhasznált adatbázisok aktualizálására vagy akár cseréjére is, pl. a felhasznált klímamodellek tekintetében.

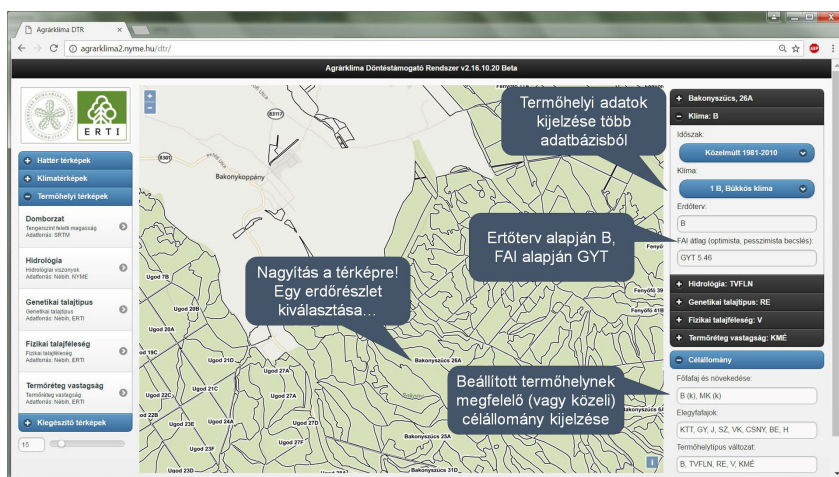
A DTR újdonsága, hogy a térinformatikai rendszer konkrét területegységenként szolgáltat múlt- és jövőbeli adatokat a gazdálkodónak. Az előrevezetési időszak választható és a század végéig terjed. Webes felülete kapcsolható térképi rétegekkel rendelkezik (pl. domborzat, klíma, talaj, vízellátás stb.), térbeli felbontása 1 ha.

A DTR felhasználója kiválaszthatja a helyszínt és az időszakot, amelyre az értékelést kéri. A rendszer a megadott helyre és tervezési időszakra a meglévő adatbázisok alapján becslést ad a termőhelyi feltételekre és a termeszthető fajok növekedési-fatermési kilátásaira. Ezek az adatok a DTR használatakor vizuálisan megjelennek a képernyőn (4. ábra). Lehetőség van – a helyszíni viszonyok ismeretében – a rendszer által felkínált adatok módosítására és az új adatokon alapuló becslés futtatására.

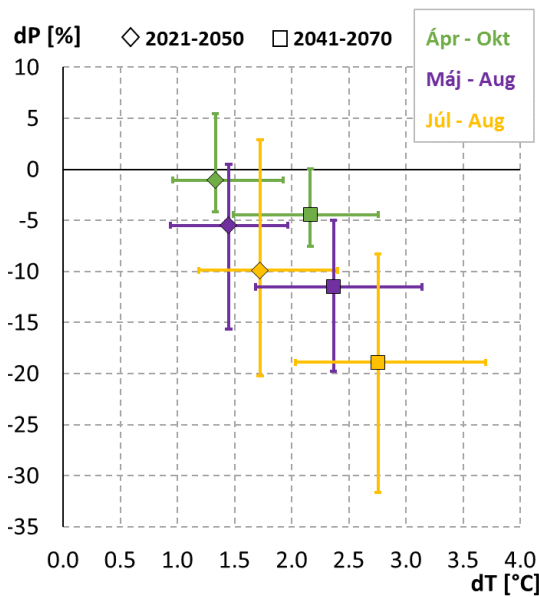
A DTR termőhelyi adatbázis moduljai

Klímaadatok. A DTR-ben elérhető klímafelületeken a múlt (1961–1990, 1981–2010) hőmérséklet- és csapadékviszonyait a CARPATCLIM adatbázis (www.carpatclim-eu.org) alapján jellemeztük. A rendszer a kijelölt helyszínre meghatározza a FAI alapján definiált erdészeti klímaosztályt, amely megfelelően alátámasztott információk esetén helyesbíthető. A várható klíma becslése 12 regi-

onális klímamodell szimuláció (www.ensembles-eu.org) eredményeinek együttes elemzésével történt, az IPCC A1B kibocsátási forgatókönyvének feltételezésével, három időszakra (2021–2050, 2041–2070 és 2071–2100). A jövőbeni változások nagyságát az 1981–2010-es referencia-periódushoz képest állapítottuk meg. Meghatároztuk a szimulációk átlagos eredményét, valamint a valószínű változás tartományát, mely az IPCC definíciója alapján a modelleredmények 66%-át tartalmazza.



4. ábra. A DTR a képernyőn: a kiválasztott erdőrészt (itt: Bakonyzúcs 26a) kijelzi az Adattár eddigi adatait, valamint az előrevezetett klímára (itt: GYT, FAI: 5,46) érvényes fajaj-javaslatot (főfajok: bükk és/vagy magaskőrös, mindkettőre közepes hozamot jelez előre) (Czímber K., eredeti).



5. ábra. A vegetációs időszak (ápr – okt), a fő növekedési szakasz (máj – aug) és a kritikus hónapok (júl – aug) átlaghőmérsékletének (dT) és csapadékösszegének (dP) várható változása az 1981–2010-es referencia periódushoz képest. Elemzett régió: Nyugat-Zselic, GYT klíma. Hibásávok: a modelleredmények 66%-a (Gálos – Führer, 2018).

Az elemzett körzetektől függetlenül, a fafajok számára meghatározó hónapok átlaghőmérséklete az 1981–2010-es időszakhoz képest szignifikáns növekedést mutat. Minden vizsgált jövőbeli periódusban a fák egészségi állapota és növekedése szempontjából kritikus hónapok (július-augusztus) hőmérséklete emelkedik a legjobban, és a modelleredmények szórása ellenére ezekben a hónapokban várható a legnagyobb csapadékcsökkenés (5. ábra).

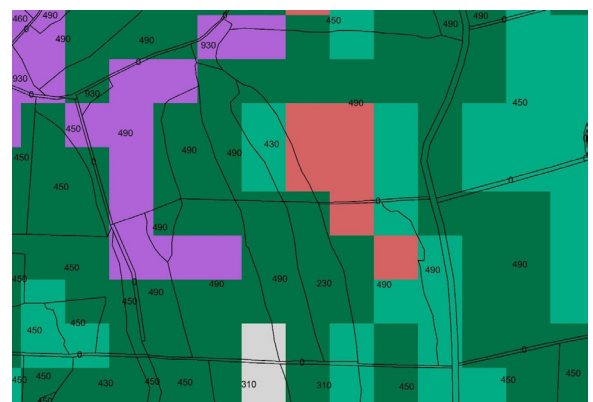
Az erdők szempontjából aszályos évek gyakoriságát szintén a *FAI* segítségével definiáltuk és becsültük. A 21. század közepére nemcsak gyakoribbak, hanem szélsőségesebbek is lehetnek azok a periódusok, melyekben a fő növekedési időszak jelentősen szárazabb és melegebb, mint az 1981–2010-es átlag (Gálos és Führer, 2018).

A DTR az újabb klímaprojekciókkal folyamatosan frissíthető. Újabb elemzéseink szerint az RCP4.5 és az RCP8.5 scenáriókra futtatott modellek eredményei is egyértelműen jelzik az ariditás fokozódását és a jövedelmező erdőgazdálkodásra kevésbé alkalmas területek jelentős növekedését.

Talajadatok. A DTR a talaj tulajdonságok közül jelenleg külön modulban kezeli a genetikai talajtípust, a talajok fizikai féleségét, illetve a termőréteg vastagságát (4. ábra). A klímaváltozás miatt, fokozottan előtérbe kerül a talaj vízháztartásának, víztároló képességének a kérdése. A hosszabb-rövidebb aszályos, illetve forró időszakokat az erdő fái csak akkor képesek „átvészelni”, ha a talaj megfelelő víztároló képességgel rendelkezik (Bidló *et al.*, 2018). Ezért a rendszerben a fizikai talajféleség és genetikai talajtípus leíró adatai helyett a becsült víztároló képesség értéke szerepel.

A DTR talajadatainak elsődleges forrása az Erdőállomány Adattár, amely minden hazai erdőrészletre kiterjedően tartalmaz a talajra vonatkozó adatokat. Ezen adatállomány legfőbb előnye, hogy országos lefedettségű, hátránya viszont az, hogy a rendelkezésre álló adatok megbízhatósága eltérő (becsült vagy mért adatok), csak egész erdőrészletre vonatkozó „átlagos” adatok állnak rendelkezésre, továbbá a jelenlegi erdőn kívüli területekről nem tartalmaz adatot.

Az Agrárklíma DTR fejlesztése keretében egy-egy mező- és az erdőgazdálkodási adatbázisok egyesítésével és a környezeti változók felhasználásával részletes digitális talajtérképet szerkesztettünk (Illés *et. al.*, 2016), amely az ország egész területére tartalmazza a genetikai talajtípusokat, 1 ha-os felbontásban (6. ábra). A fejlesztéshez



6. ábra. A talaj adatbázis digitális finomítása a DTR-ben. Az Erdőállomány Adattár talajtípus-térképén (fekete határok és kódjelek) a DTR 1 ha-os felbontású, pontosított adatait színezés mutatja. Mintapélda: az Adattár karbonátmaradványos barna erdőtalaját (kódjel: 490) a DTR csak a vörös négyzetekben jelzi (Hőgyész, Tolna m.; Illés G., eredeti).

pontszerű felvételi adatokat (több tízezer pontot), illetve digitális térképi adatokat használtunk fel. E térkép (illetve a hozzá tartozó adatbázis) nagyban megkönnyíti egy-egy nagyobb terület értékelését és az előrejelzések elkészítését.

A digitális térképi adatállományok tartalmazzák továbbá az ország domborzatmodelljét, a földtani és a talajvíz adatokat, a klimatikus és földhasználati térképi fedvényeket. Tájékoztató adatként pedig rendelkezésre állnak még a becsült humusz- és mérszartalom-, valamint a kémhatás gyakorlatban alkalmazott besorolási kategóriái is. Mivel az adatbázisokban szereplő adatok nem mindig pontosak, a jövőben sem tekinthetünk el a helyszíni termőhelyfeltárás, ezen belül pedig a talajvizsgálatok végzésétől.

Hidrológia. A DTR 1 × 1 km-es felbontású hidrológiai térképének készítéséhez az MGFI által a 2000-es évekre készített talajvíztérképet, a BMGE-n készült aktuális párolgástérképet (*Szilágyi és Kovács, 2010*) és az agrotopográfiai térképet használtuk fel. Jövőbeli bizonytalanságuk miatt az aktuális talajvízviszonyok pontosítása helyi terepi vizsgálatok útján ugyancsak ajánlott.

A fajokválasztást támogató háttér- adatok

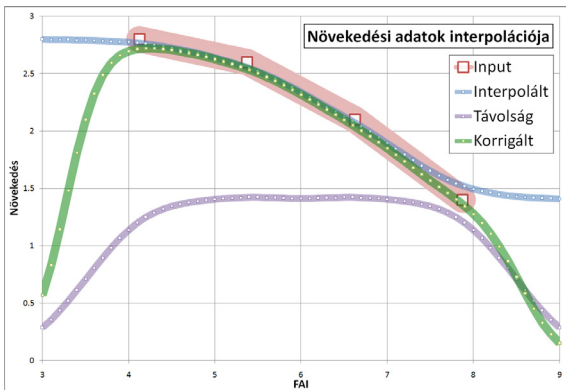
A DTR az erdészeti termőhely-értékelés fő paramétereit alapján tesz javaslatot a fajválasztásra. A klimatikus és hidrológiai változások miatt azonban olyan új termőhelytípus-változatok is létrejönnek, amelyekre a korábbi szakértői táblák nem adnak javaslatot. Ezek nagy része a klíma „eltolódásából” adódik, miáltal olyan talajtípusok kerülnek egy-egy erdészeti klímaosztályba, amelyek korábban abban nem szerepeltek. Új helyzetet idéznek elő az eddigi négy klímaosztály mellett megjelenő sztyep termőhelyi viszonyai, melyek erdészeti megítélésére jelenleg hiányoznak a tapasztalatok. A DTR fejlesztésének fontos célja volt, hogy ezen új termőhely-kombinációkra is tegyen javaslatot. Ehhez a fatermőképesség és a termőhely kapcsolatának becslését két irányból közelítettük meg.

Statisztikai modellezés. A tapasztalati alapon rendelkezésre álló, rendszeres terepi adatgyűjtésből építkező Erdőállomány Adattár, és

a termőhelyi adottságokat modellező háttér adatait együttesen modelleztük. A modellek validációjára a faállományok növekedésének részletesebb megfigyelésére létesített monitoring (FNM-hálózat) állandósított pontjait használtuk. Az FNM pontok adataihoz képest a statisztikai modell becslési pontossága ± 1 fatermési osztályon belül maradt.

Előrebecslés gépi tanulással. A fatermőképesség (hozam) előrebecsléséhez a szakértői célállomány-táblázatok (*Wisnovszky, 2005*) adatainak digitális általánosítására volt szükség. (A „célállomány” a termőhelynek megfelelő, erdészeti hasznosítású állomány típusa.) A klímaváltozás következtében várható új termőhelyi változó-kombinációk esetében a tapasztalatokkal nem kellően feltölthető hiányok kitöltésére, valamint a célállomány táblázatok digitális általánosítására kidolgoztunk egy gépi tanulási módszert, amely a táblázatok adataiból indul ki, azok adataiból tanul, és a tanulási folyamat végén faj- és növekedésbecslést ad. Elsőként valamennyi termőhelytípus-változati tényezőt mennyiségi értékekre váltottuk. A klímaosztály esetében a lokális *FAI* index-szel, a termőréteg-vastagság esetében a konkrét mélységgel, a fizikai talajféleség és genetikai talajtípusnál a becsült víztározó képességgel helyettesítettük a kategóriákat. A hidrológiai viszonyokat tekintve első körben csak a többletvízhatástól független termőhelyekkel foglalkoztunk. A jó-közepes-gyenge növekedéstrendet 3, 2, 1 értékekkel helyettesítettük.

A gépi tanulási módszer a kvantifikált adatok alapján egy ötdimenziós termőhelytípus-változat-térben (*4. ábra*) keresi a legközelebbi öt célállományt, és távolságkernelek segítségével súlyozza azok növekedését (*7. ábra*). A módszer célállományonként súlyoz, és csak a tanításra használt adatsoroktól való távolságszámítás és súlyozás után választja ki a legközelebbi öt célállományt. A módszer kimenete egy lista, minden erdészeti szempontból fontos, a jelenben és a jövőben valószínűsíthető termőhely típus-változatra, amely tartalmazza a legközelebbi öt (vagy kevesebb) célállományt, azok várható számszerűsített növekedését, valamint egy egész számot, hogy a növekedésbecslés hány közeli adatsor alapján történt



7. ábra. A növekedés/hozam modellezése egyetlen jellemző, a FAI index alapján. Az ábrán a kocsánytalan tölgy szakértői táblákból levezetett növekedési adatai interpolációja (kék), valamint a távolsággal (lila) korrigált interpolációja (zöld) látható (Czímber K., eredeti).

A rendszert felkészítettük az ötödikként belépő sztyep klímára történő becslésekre is (Czímber és Gálos, 2016).

Előalkalmazkodott szaporítóanyag-források azonosítása

A klímaváltozás gyorsasága a nagyon hosszú életciklusú erdei fafajok esetében nemcsak a természetes alkalmazkodóképességet haladja meg, de a tolerancia nemesítés útján való javítására sem ad lehetőséget (eltekintve az ültetvényesen

termesztett klónoktól). Ezért a klímatolerancia javításának egyik fontos lehetősége az előalkalmazkodott populációk mesterséges áttelepítése, amely a természetes körülmények között jóval hosszabb időtávlatban lezajló fajvándorlás felgyorsítása (támogatott migráció). Előalkalmazkodottnak tekintjük azt a populációt, amely ahhoz a helyi klímához alkalmazkodott, amely a felújításra tervezett területen, a kiválasztott jövőbeni referencia időszakban várható. A DTR egy applikációja lehetővé teszi az előalkalmazkodott populációk szaporítóanyag-forrásai azonosítását egy kiválasztott helyszínrre. A webes alkalmazás a felújítandó helyszín jövőbeni klímájának megfelelő szaporítóanyag-forrásokat nemcsak az ország területén, hanem az adott fafaj teljes elterjedési területén belül keresi és azonosítja (8. ábra).

A hazai támogatáspolitikai is ösztönzi a gazdálkodókat az „erdei ökoszisztémák ellenálló képességének és környezeti értékének növelését célzó beruházások” című pályázati lehetőséggel, és a „klímarezisztens” szaporítóanyag-források alkalmazásának logisztikai többletköltségeit jelentős, akár 1000 Euró/ha-t meghaladó összeggel támogatja. Például a kocsánytalan tölgy esetében, hektáronként legalább 4000 db csemete ültetése vagy 200 kg/ha tölgy makk vetése esetén több mint 800 Euró/ha támogatás vehető igénybe (Benke és Borovics, 2019).

Az Agrárklíma DTR adatai a NATÉR-ben

A DTR fejlesztése során kapott erdészeti eredményeket a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) rendszerében is elhelyeztük (Selmeczi et al., 2016; www.agrater.hu). A SoE ERTI munkatársai a CIVAS modell megközelítését használva, termőhelyi alapon becsülték a fafajok változásokkal szembeni érzékenységét, valamint értékelték a termőhelyi tartalékokban, a kor-, és fajszerkezetben mutatkozó adaptációs lehetőségeket. A fenti elemek összesített értékelése alapján kialakítottak egy erdő-sérülékenységi indikátort. A NATÉR rendszerébe a fenti adatok 1 km-es térbeli felbontással, a klímaosztály eltolódási adatok 10 km-es térbeli felbontással kerültek be.



8. ábra. Szaporítóanyag-források azonosítása a DTR-el. Egy pilisi erdőrezervátum (1 jelnel) felújításához „előalkalmazkodott” csertölgy szaporítóanyag forrást azonosít a rendszer hazai magtermelő állományokban (Δ), illetve a határokon túl (megfelelő: kék, alkalmatlan: piros). A jövőbeni referencia időszak a 2050-re átlagolt klíma (forrás: SoE ERTI).

Összefoglalás

Az Agrárklíma DTR az erdészeti kutatás legújabb innovációja. Alkalmazása lehetővé teszi a termőhelyi feltételek jövőbeni alakulásának finom léptékű követését, bármely kiválasztott helyszínre vonatkoztatva. Javaslatot szolgáltat a hosszú távon fenntartható fafajokra, várható hozamukra, és akár a gazdálkodás módjára is. A körzeti erdőtervek megújítása során ma már alkalmazzák az Agrárklíma DTR-t. A rendszer részletes tartalmát és szakmai háttérét az Erdészeti Lapok 2017 áprilisa és 2018 januárja közötti számaiban, Mátyás Csaba szerkesztésében megjelent „A klímaváltozáshoz alkalmazkodó erdőgazdálkodás kihívásai – I-VIII” című cikksorozat mutatja be.

Az Agrárklíma döntéstámogató rendszer jelenlegi továbbfejlesztési fázisában elsősorban a gyakorlati bevezetés terepi tesztelésével foglalkoznak a SoE ERTI kutatói, különösen a jövő klíma-forogatókönyveire megállapított, újszerű termőhelyi viszonyokkal kapcsolatban. Az elkészült szoftver az érdeklődők számára is hozzáférhető lesz, jelenleg még csak részleteiben megnyitható. A rendszerrel és a „klímarezisztens szaporítóanyag” kereső szoftverrel további információk a SoE ERTI honlapján (ertigis.hu; naik – erti geoportál) érhetők el.

Köszönetnyilvánítás. Az ismertetett kutatási és fejlesztési eredmények legnagyobb részét az Agrárklíma.2 VKSz-12-13-0034 sz.kutatási projekt támogatása alapozta meg.

Irodalom

Benke A., Borovics, A., Cseke K., Keserű Zs. és Nagy L., 2019: Erdészeti nemesítési és genetikai eredmények a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központban. In (Szerk.: Karsai, I.), A magyar növény nemesítés eredményei az ezredfordulón (1990–2018). Agroinform Kiadó, Budapest, 111–120.

Bidló A. és Horváth A., 2018: Talajok szerepe a klímaváltozásban. *Erdészettud. Közlem.* 8, 57–71.

Czímber, K. and Gálos, B., 2016: A new decision support system to analyse the impacts of climate change on the Hungarian forestry and agricultural sectors, *Scand. J. Forest Res.* 31, 664–673.

Csóka Gy., Hirka A. és Szócs L., 2012: Rovar- globalizáció a magyar erdőkben. *Erdészettud. Közlem.* 2, 187–198.

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

Führer E., 2018: A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. *Erdészettud. Közlem.* 8, 27–42. DOI:10.17164/EK.2018.002

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.

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

Gálos B. és Führer E., 2018: A klímaértékelés erdészeti célú előrevetítése. *Erdészettud. Közlem.* 8(1), 43–55. <https://doi.org/10.17164/EK.2018.003>

Illés G., Fonyó T., Pásztor L., Bakacsi Zs., Laborci, A., Szatmári, G. és Szabó J., 2016: Az Agrárklíma.2 projekt eredményei: Magyarország digitális talajtípus térképének előállítás, *Erdészettud. Közlem.* 6, 17–24.

Járó Z., 1972: A termőhely fogalma. In (Szerk.: Danszky I.), Erdőművelés I. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 47–87.

Kovács A., Szócs T., Tóth Gy., Marton A., Kun É. és Kerékgyártó, T., 2015: A talajvíz klímaérzékenységének modellezése a NATÉR projekt keretei között. MFGI Kutatási jelentés.

Mátyás Cs., 2017: Az eDTR alapvető célkitűzései és működése. *Erdészeti Lapok* 152(11), 306–307.

Mátyás, Cs., Berkó, I., Bidló, A., Csóka, Gy., Czímber K., Führer, E., Gálos, B., Gribovszki, Z., Illés, G., Hirka, A., and Somogyi, Z., 2018: Sustainability of forest cover under climate change on the temperate-continental xeric limits. *Forests* 9, 489; 32. <https://doi.org/10.3390/f9080489>

Nováky, B. and Bálint, G., 2013: Shifts and modification of the hydrological regime under climate change in Hungary. In (Ed.: Singh, B.R.), Climate change – Realities, impacts over ice cap, sea level and risks. InTech 163–190. <https://doi.org/10.5772/54768>

Pálfai I., 2010: A Duna - Tisza közti hátság vízgazdálkodási sajátosságai. *Hidrológiai Közöny* 90, 40–44.

Selmecei P., Pálvölgyi T. és Czira, T., 2016: Az éghajlati sérülékenységvizsgálat elemzési-értékelési módszertana. In (Szerk.: Pálvölgyi, T. és Selmecei, T) 2016: Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. A MFGI kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására. MFGI, Budapest, 25–29.

Szilágyi, J. és Kovács, Á., 2010: Complementary relationship-based evapotranspiration mapping (cremap) technique for Hungary. *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 54, 95–100. <https://doi.org/10.3311/pp.ci.2010-2.04>

Wisnovszky K., (szerk.) 2005: Az egyes termőhelytípus-változatokon alkalmazható célállományok és azok várható növekedése. Áll. Erdészeti Szolgálat (ÁESZ), Budapest.