

Az erdei ökoszisztémákban is detektálták az összefüggő szélsőségesen aszályos periódusok súlyos hatásait, elsősorban a fafajok elterjedésének szárazsági határán (Mátyás és Czimer 2000; Mátyás et al. 2010). Egyértelművé vált az időjárási szélsőségek kárlánckiváltó hatása, fokozódott az igény a várható hatások becslésére, az alkalmazkodási stratégiák kidolgozására, melyhez nélkülözhetetlen a jövőre vonatkozó éghajlati tendenciák ismerete.

A hamburgi Max Planck Meteorológiai Intézettel való együttműködés keretében Gálos Borbála regionális klímamodell szimulációk eredményeit elemezte az erdők szempontjából fontos tényezőkre. Ennek alapján a 21. század során egyre gyakoribbak lehetnek a fafajok elterjedését, egészségi állapotát, az erdei ökoszisztémák víz- és szénforgalmát, valamint a kórokozók, károsítók megjelenését meghatározó szélsőségesen meleg és száraz időszakok (Gálos et al. 2015). Az erőteljes nyári hőmérsékletnövekedés fokozza az ariditást, és az eddigi legszárazabb, de már a bükk mortalitását okozó aszályos periódusnál szélsőségesebb aszályok is előfordulhatnak (Gálos és Somogyi 2017). Ez azt valószínűsíti, hogy az eddigieknél súlyosabb erdészeti károk várhatók, ami indokolja az alkalmazkodást már kisebb mértékű klímaváltozás esetén is. Az előrevetített hőmérséklet- és csapadéktendenciák a fafajválasztást segítő Agrárklíma Döntéstámogató Rendszer alapját képezik, melyet külön fejezet tárgyal.

Az erdők nem csupán hatásviselők, hanem hatótényezők is az éghajlati rendszerben. A 20. századi felszínborítás változás (erdőterület növekedés) klimatikus hatását Drüsler (2010) mezoskálájú, időjárás előrejelző modell segítségével számszerűsítette. Az erdőterület és potenciális növelésének a klímára gyakorolt hatását a jövőre regionális klímamoddellel végzett esettanulmányok alapján is vizsgálták. A feltételezett erdőtelepítés Magyarországon a nyári csapadékmennyiség és evapotranspiráció növekedését, valamint a hőmérséklet csökkenését eredményezi, amennyiben összefüggő, nagy kiterjedésű területeket érint. A gazdaságtalan szántók helyén potenciálisan megvalósítható, országos átlagban 7%-os erdőterület növekedésnek azonban a vizsgálatok szerint nincs jelentős hatása a regionális éghajlati viszonyokra (Gálos et al. 2012). Ezek az elemzések hazánkban elsősorban számszerűsítették az erdők klimatikus értékét, lehetséges éghajlatváltozás-mérsékelő hatásának biofizikai összetevőit. Az újszerű megközelítéseket és módszereket alkalmazó vizsgálatokat egy nemzetközi projekt keretében Európára is kiterjesztették (Gálos et al. 2013).

Erdészeti klímaosztályok és meteorológiai jellemzésük

Führer Ernő, Gálos Borbála, Jagodics Anikó és Mátyás Csaba

Az erdőtenyészet megjelenését és fejlődését elsősorban az ökológiai viszonyok határozzák meg. Az ökológiai tényezők közül a legfontosabb és a leggyorsabban változó az éghajlat, mely paraméterein keresztül az egyes fafajok elterjedését közvetlenül befolyásolja, de mivel a többi termőhelyi tényező (talaj, hidrológia) kialakulásában és fejlődésében is szerepet játszik, azokon keresztül még közvetett hatása is érvényesül.

A szakszerű és tartamos erdőgazdálkodás bevezetésével kezdetben sokat foglalkoztak az egyes fajok klímaigényével, és megállapították, hogy egy-egy klímaelem segítségével levont következtetés nem mindig helytálló, mert azok együttes hatása érvényesül. Szántó (1949) ezt felismerve dolgozta ki az egyes fajok éghajlatjósági mértékszámát, melyek segítségével megrajzolt görbék jó tájékoztatást adnak a fajok makroklimatikus igényéről. Ezen ismeretek gyakorlati alkalmazhatósága érdekében azonban szükség volt egy olyan osztályozásra, amiben a fajelterjedés és az éghajlat összefüggései megjelennek. Az erdészeti kutatás kezdetben hazai meteorológusok éghajlat-osztályozásaira épített, melyek közül kiemelkedő volt Bacsó (1959) munkássága. Míg a kizárólag klímaelemekre épülő éghajlati körzetek nagyvonalú áttekintést adnak az ország területére jellemző makroklímáról, viszont Borhidi (1961) klímazonális besztázásban már érvényesült az éghajlat és a következményeként megjelenő erdőtakaró fajoknak összefüggése is. Borhidi és Szántó eredményeit felhasználva a klímazonális fajoknak egy adott térségen belüli előfordulása alapján alakította ki Járó (1972) azt az erdészeti klímaosztályozást, amit végül a gyakorlat évtizedeken keresztül használt, és részben még ma is követ.

Járó az erdészeti klímaosztályozás során a légköri páratartalmat tartotta a legfontosabb tényezőnek, mert az erdők elterjedésének határa szinte egybeesik a júliusi 65%-os légnedvességi átlag lefutásával (Járó 1962). Mivel azonban a relatív páratartalom napi menetében az éjszakai órák jelentős kiegyenlítést okoznak, ezért a fák számára döntő vízleadás (transzspiráció) mértékét jobban befolyásoló júliusi 14 órai átlagos páratartalom értékei a klímaosztályok szétválasztására alkalmasabbnak bizonyultak (Járó 1972). Ezt alátámasztja a talajtanban ismert megállapítás is, miszerint erdőtalajok csak (klíma-)zonális erdőtársulások alatt alakulhattak ki, hiszen a csernozjom területeket lehatároló vonal szinte megegyezik az 50%-os júliusi 14 órai légnedvesség határát jelző görbe futásával (Stefanovits 1963). Ezért Járó azt a területet, ahol az átlagos júliusi 14 órai relatív légnedvesség nem érte el az 50%-ot, erdőssztyep klímájúnak, ahol e mutató 50–55% közé esik, azt kocsánytalan tölgyes, ill. cseres klímájúnak, ahol 55–60% közé esik, azt gyertyános-tölgyes klímájúnak és ahol 60%, vagy annál magasabb, azt pedig bükkös klímájúnak minősítette. Ezen értékeket a későbbiekben, több meteorológiai állomás adatainak és a fajok elterjedési határainak egybevetését követően felülvizsgálták, és a klímaosztályok határait 2%-kal lejjebb rögzítették (Führer és Járó 2000).

A geoinformatika rohamos fejlődése új lehetőségeket nyitott meg az erdészeti klímaosztályok pontosabb meteorológiai jellemzésére. Az Erdőállomány Adattár klímabesorolásait térinformatikailag feldolgozva, az egyes zonális faállomány-típusok, a potenciális (növény-szociológiai) erdőtársulások és az erdészeti nagytájak jellemző meteorológiai adatai meghatározhatókká váltak (Mátyás és Czímber 2000). Az elemzés az egyes klímaosztályok átlagos csapadék- és hőmérséklet adatai között meglepően csekély különbségeket mutatott ki. A klímaosztályokon belül tapasztalható jelentős szóráshoz a nagytájak eltérő klímája jelentősen hozzájárult, jelezve a topográfia szerepét. A klímaosztályok közötti különbségek egybevetése a klíma-forгатókönyvek előrevetített adataival felhívta a figyelmet a hazai erdők jelentős mértékű veszélyeztetettségére, és a konkrét klímaadatokra

alapozott, erdőrésztlet-szintű klíma-kitettség számszerűsítésének fontosságára (Mátyás és Czímber 2001).

Az elmúlt 50 év erdőgazdálkodásának tapasztalatai egyértelművé tették, hogy az erdészeti klímaosztályoknak nemcsak ökológiai, hanem természetstechnológiai és ökonómiai jelentősége is van, ezért elengedhetetlen a klíma olyan értékelése, amely figyelembe veszi a faanyag-képződéssel összefüggő ökofiziológiai folyamatokat és bizonyos mértékig a fák életképességét befolyásoló klimatikus körülményeket is (Führer 2018; Führer et al. 2013). A relatív páratartalom értékei térben és időben igen gyorsan változnak, és kellő számú, megbízható méréseken alapuló forrásadattal sem rendelkezünk, sőt, ma már nem is végeznek ilyen méréseket, ezért a klímaosztályok lehatárolását az ún. klímajelző teszt-fafajok elterjedésére alapozták, amelyekről a klímaosztályokat el is nevezték.

Járó Zoltán átlagos júliusi 14 órai relatív légnedvességre alapozott klímabeosztását továbbfejlesztve, Führer dolgozta ki azt a mutatószámot, amely figyelembe veszi a fák növekedése és a klíma közötti ok-okozati kapcsolatot befolyásoló periódusok időjárási körülményeit. Olyan meteorológiai paraméterekre épít, amelyeket hosszú idő óta az országban sok helyen rögzítenek, és amelyek térbeli és időbeli kiterjesztése, azaz területi és időbeli extrapolálása nagy biztonsággal megoldható. Ez a mutatószám az egyszerűsített erdészeti szárazsági mutató (Forestry Aridity Index: FAI), amelynek képlete figyelembe veszi az ún. kritikus hónapok (július, augusztus) átlaghőmérsékletét, és a fő növekedési periódus (május-augusztus) csapadékösszegét (Führer 2010, 2018; Führer et al. 2011). Az átlagos FAI értékek és a térség zonális faállományai alapján

- *bükkös* a klíma ott, ahol a FAI-érték 4,750, vagy az alatti,
- *gyertyános-tölgyes* ott, ahol a FAI-érték 4,751 és 6,000 közötti, és a vizsgált klímaperiódus alatt a bükkös klímájú évek aránya kisebb, mint 40%, a bükkös és gyertyános-tölgyes klímájú évek együttes előfordulása pedig kisebb, mint 70%,
- *kocsánytalan tölgyes, ill. cseres* ott, ahol FAI-érték 6,001 és 7,250 közötti, és a vizsgált klímaperiódus alatt a bükkös és gyertyános-tölgyes klímájú évek együttes előfordulása pedig kisebb, mint 50%,
- *erdőssztyep* klímájú ott, ahol a FAI-érték nagyobb, mint 7,250, és a vizsgált klímaperiódus alatt az erdőssztyep és a kocsánytalan tölgyes, ill. cseres klímájú évek együttes előfordulása pedig nagyobb, mint 75%.

Az egyszerűsített szárazsági mutató egzakt meteorológiai adatok segítségével lehetővé teszi:

- egy helysín, egy táj, vagy egy nagyobb térség átlagos klímájának és annak változékonyságának erdészeti szempontú jellemzését (Führer 2017, 2019),
- az erdészeti klímaosztályok lehatárolását és meteorológiai jellemzését (Führer 2018),
- a globális klímaváltozás hatása miatt az erdészeti klímaosztályok területében várható módosulások rövid és hosszú távú előre jelzését (Führer et al. 2011, 2017; Gálos és Führer 2018),
- az erdőadattárban nyilvántartott erdőrésztletek klímabesorolásának pontosítását, és
- a Magyarországon alkalmazott erdészeti termőhely-tipológia továbbfejlesztését és beépítését az Erdészeti Döntéstámogató Rendszerbe (Mátyás 2017).

Irodalom

- Antal E., Berki I., Justyák J., Kiss Gy., Tar K. és Vig P. 1997: A síkfőkúti erdőtársulás hő- és vízháztartási viszonyainak vizsgálata az erdőpusztulás és az éghajlatváltozás tükrében. Debrecen, 83 o.
- Bacsó N. 1959: Magyarország éghajlata. Budapest, Akadémiai Kiadó 302 o.
- Bartholy J., Pongrácz R., Gelybó Gy. és Szabó P. 2008: Analysis of expected climate change in the Carpathian basin using the PRUDENCE results. *Időjárás* 112: 249–264.
- Berki I. és Mátyás Cs. 2018: 90 éve született Jakucs Pál. *Erdészeti Lapok* 153(10): 323–324.
- Bihari Z., Lakatos M. és Szentimrey T. 2017: Meteorológiai megfigyelésekből készített rácsponyi adatbázisok az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. *Léghkör* 62: 148–151.
- Bognár K. R. és Vig P. 2004: A sugárzási egyenleg faállományon belüli változásai egy bükkösben. In: Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.): *Erdő és klíma IV.* NymE, Sopron, 133–143. o.
- Bolla B. és Szabó A. 2020: A NAIK-ERTI hidro-meteorológiai monitoring rendszerének kezdeti eredményei a 2019. éves mérések alapján. *Erdészettudományi Közlemények* 10(1): 41–54.
- Bolla B., Németh T. M. és Gácsi Zs. 2018: A vízháztartás vizsgálata néhány Kiskunsági faállományban. *Erdészettudományi Közlemények* 8(2): 37–50.
- Borhidi A. 1961: Klimadiagramme und klimazonale Karte Ungarns. *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis, Sectio Biologica* 4: 20–25.
- Borovics A., Illés G., Juhász J., Móricz N., Rasztovits E., Nimmerfroth-Pletscher B., Ungváry F., Pintér T., Pödör Z. és Jereb L. 2018: Erdészeti klímaközpont kialakításának szükségessége és lépései. *Erdészettudományi Közlemények* 8(2): 5–8.
- Drüszler Á., Csirmaz K., Vig P. és Mika J. 2010: Effects of documented land use changes on temperature and humidity regime in Hungary. In: Saikia S. P. (szerk.): *Climate Change, International Book Distributors*, 394–418. o.
- Führer E. és Járó Z. 2000: Az aszály és a belvíz érvényesülése a Nagyalföld erdőművelésében I. *Erdészeti Tudományos Intézet Kiadványai* 12., 144 o.
- Führer E. (szerk.) 2017: Magyarország erdészeti tájai, I. Nagyalföld Erdészeti Tájcsoport és II. Északi-középhegység erdészeti tájcsoport. Nemzeti Élelmiszer-Biztonsági Hivatal, Budapest, 972 o. és 574 o.
- Führer E. (szerk.) 2019: Magyarország erdészeti tájai, III. Dunántúli-középhegység erdészeti tájcsoport. és IV. Kisalföld erdészeti tájcsoport. Nemzeti Földügyi Központ. Budapest, 778 o. és 339 o.
- Führer E. 1992: Intercepció meghatározása bükk, kocsánytalan tölgy és lucfenyő erdőben. *Vízügyi Közlemények* 74(3): 281–296.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. „KLÍMA-21” Füzetek 61: 98–107.
- Führer E. 2018: A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. *Erdészettudományi Közlemények* 8(1): 27–42.
- Führer E., Horváth L., Jagodics A., Machon A. és Szabados I. 2011: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás* 115: 103–118.
- Führer E., Horváth L., Mórting A., Pödör Z. és Jagodics A. 2017: Az erdészeti szárazsági mutató (FAI) segítségével lehatárolt erdészeti klímaosztályok/klímakategóriák jellemzése. *Erdészeti Lapok* 152(9): 270–272.
- Führer E., Jagodics A., Juhász I., Marosi Gy. és Horváth L. 2013: Ecological and economical impacts of climate change on Hungarian forestry practice. *Időjárás* 117(2): 159–174.

- Gácsi Zs. 2000: A talajvízszint észlelés, mint hagyományos, s a vízforgalmi modellezés, mint új módszer Alföldi erdeink vízháztartásának vizsgálatában. Doktori (Ph.D.) értekezés, NyME, Sopron.
- Gálos B. és Führer E. 2018: A klíma erdészeti célú előrevetítése. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 43–55.
- Gálos B. és Somogyi Z. 2017: Új klímaszcenáriók – fellélegezhetnek bükköseink? Erdészettudományi Közlemények 7(2): 85–98.
- Gálos B., Führer E., Czímber K., Gulyás K., Bidló A., Häsler A., Jacob D. és Mátyás Cs. 2015: Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County. *Időjárás* 119(4): 425–441.
- Gálos B., Hagemann S., Häsler A., Kindermann G., Rechid D., Sieck K., Teichmann C. és Jacob D. 2013: Case study for the assessment of the biogeophysical effects of a potential afforestation in Europe. *Carbon Balance and Management* 8(3/3), 12 o.
- Gálos B., Mátyás Cs. és Jacob D. 2012: Az erdőtelepítés szerepe a klímaváltozás hatásának mérséklésében. Erdészettudományi Közlemények 2(1): 35–45.
- Gribovszki Z., Kucsara M. és Vig P. 1999: Hidrológiai és állományklíma-kutatások a Sopron melletti Hidegvíz-völgyben. In: Gácsi Zs. (szerk.): Erdő–Víz. Szemelvények erdészeti kutatási és gyakorlati munkákból, Kecskemét, 7–20. o.
- Haszpra L. 2012: A magyarországi légköri széndioxid-mérések harminc éve. *Magyar Tudomány* 2012(2): 184–191.
- Horváth L., Nagy Z., Führer E. és Weidinger T. 1995: Nyírjes 1991–1993, 1. rész: Expedíciós toronymérések fenyőállomány felett. In: Tar K., Berki I. és Kiss Gy. (szerk.): Erdő és Klíma Konferencia, KLTE, Debrecen, 64–71. o.
- Ijjász E. 1933: Adatok a magyar erdészeti meteorológia viszonyaihoz. *Erdészeti Kísérletek* 35(1–2): 119–135.
- Ijjász E. 1938: Az erdő szerepe a természet vízháztartásában. *Hidrológiai Közöny* 18(1):416–445.
- Jakucs P. 1973: „Síkfőkút Project”. Egy tölgyes ökoszisztéma környezetbiológiai kutatása a bioszféra-program keretén belül. MTA Biológiai Osztály Közleményei 16: 11–25.
- Járó Z. és Sitkey J. 1995: Az erdő és a talajvíz kapcsolata. *Erdészeti Kutatások* 85(1): 35–49.
- Justyák J. 1987: Energiaháztartás-mérések tölgyerdőben. *Időjárás* 2–3: 131–147.
- Járó Z. 1962: A termőhelyi tényezők ismertetése. In: Majer A. (szerk.): Erdő- és termőhely-típlógiai útmutató. Országos Erdészeti Főigazgatóság, Budapest, 11–68. o.
- Járó Z. 1972: A termőhely fogalma. In: Danszky I. (szerk.): Erdőművelés I. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 47–87. o.
- Járó Z. 1980: Intercepció a gödöllői kultúr erdei ökoszisztémában. *Erdészeti Kutatások* 73(1): 7–17.
- Kircsi A. (szerk.) 2000: III. Erdő és Klíma konferencia. DE TTK Meteorológiai Tanszék, Debrecen, 184 o.
- Kiss F. 1944: Harc az elemi csapásokkal a Duna–Tisza közti homokterületeken. *Erdészeti Lapok* 83(2): 51–68., 83(3): 101–108.
- Kucsara M., Gribovszki Z., Kalicz P. és Vig P. 2008: A hidegvíz-völgyi erdészeti hidrológiai kutatóhely. Sopron, 25. o.
- Manninger M. 2009: Erdővédelmi hálózat, intenzív monitoring. In: Kolozs L. (szerk.): Az Erdővédelmi Mérő- és Megfigyelő Rendszer 1988–2008. MGSZH Erdészeti Igazgatóságának kiadása, Budapest.
- Mátyás Cs. és Czímber K. 2000: Zonális erdőtakaró mezoklíma szintű modellezése: lehetőségek a klímaváltozás hatásainak előrejelzésére. In: Kircsi A. (szerk.): III. Erdő és Klíma Konferencia Debrecen, 2000 jún. 7–9, DE TTK Meteorológiai Tanszék, 83–97. o.
- Mátyás Cs. és Czímber K. 2001: Az előrejelzett klímaváltozás és a magyar erdőtakaró sorsa. In: Neményi M. (szerk.): Tudományos Tanácskozás, NYME, Sopron, 67–74. o.

- Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.) 2004: Erdő és Klíma IV. Bakonybél 2003, NYME, Sopron, 328 o.
- Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.) 2007: Erdő és Klíma V. Mátrafüred 2006, NYME, Sopron, 384 o.
- Mátyás Cs. 2017: Az eDTR alapvető célkitűzései és működése. *Erdészeti Lapok* 152(10): 306–307.
- Mátyás Cs., Führer E., Berki I., Csóka Gy., Drüsler Á., Lakatos F., Móricz N., Rasztoivits E., Somogyi Z., Veperdi G., Vig P. és Gálos B. 2010: Erdők a szárazsági határon. „Klíma-21” Füzetek 61: 84–97.
- Mátyás V. 1965: Ökológiai megjegyzések a tölgy és a bükk termésének időszakosságához. *Erdészeti Kutatások* 61(1–3): 99–121.
- Mátyás V. 1970: Weather influence on beech flowering. In: Second world consultation on forest tree breeding. FAO, Washington, 1970. Aug. 7-16, Vol. 2(III): 1404-1418
- Mika J. 1988: A globális felmelegedés regionális sajátosságai a Kárpát-medencében. *Időjárás* 95: 265–278.
- Papp L. 1957: Az erdészeti meteorológiai kutatás jelentősége. *Az Erdő* 92(9): 348–353.
- Stefanovits P. 1963: Magyarország talajai. Akadémiai Kiadó, Budapest, 442 o.
- Szalai S. és Mika J. 2007: A klímaváltozás és időjárási anomáliák előrejelzése az erdőtakaró szempontjából fontos tényezőkre. In: Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.): *Erdő és Klíma V.* NYME, Sopron, 133–144. o.
- Szántó I. 1949: Erdőgazdaságunk éghajlati adottságai. *Erdészeti Kísérletek* 50(1–4): 63–113.
- Szépszó G. és Horányi A. 2008: Transient simulation of the REMO regional climate model and its evaluation over Hungary. *Időjárás* 112(3–4): 179–190.
- Tar K. és Szilágyi K. (szerk.) 1998: II. Erdő és Klíma konferencia, Sopron, 1997. KLTE, Debrecen, 229 o.
- Tar K. 1995: A síkfőkúti erdő hőmérsékletének statisztikai szerkezetéről. In: Tar K., Berki I. és Kiss Gy. (szerk.): *Erdő és Klíma Konferencia.* KLTE, Debrecen, 100–105. o.
- Tar K., Berki I. és Kiss Gy. (szerk.) 1995: (I.) Erdő és Klíma konferencia, Noszvaj, 1994. KLTE, Debrecen, 245 o.
- Tóth J. A. 2013: 40 éves a Síkfőkút project. *Botanikai Közlemények* 100(1–2): 21–45.
- Vig P. 1998: Egy középkorú bükkös vízgazdálkodása a Soproni-hegységben. In: Tar K. és Szilágyi K. (szerk.): II. Erdő és Klíma konferencia. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 184–188. o.
- Vig P. 2004: Egy bükkös vízháztartása. In: Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.): *Erdő és Klíma IV.* NYME, Sopron, 197–208. o.
- Vig P. 2007: Az inszoláció változásának hatása erdeink vízháztartására. In: Mátyás Cs. és Vig P. (szerk.): *Erdő és Klíma V.* NYME, Sopron, 351–360. o.
- Vig P. 2014: Erdőállományok energia forgalma és a klíma kapcsolata. In: TÁMOP 4.2.2.A Agrárklíma projekt C.9 téma zárójelentése, Sopron.
- Wagner R. 1955: Különböző ökológiai viszonyú területek mikroklímamérési módszerei. *Időjárás* 59: 165–170.