

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM  
FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

**MAGYARORSZÁGI ERDEIFENYŐ ÁLLOMÁNYOK KOMPLEX  
DENDROKLIMATOLÓGIAI ELEMZÉSE AZ ELMÚLT 100 ÉV  
KLÍMAVÁLTOZÁSÁNAK TÜKRÉBEN**

**DOKTORI (PH.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**MISI DÁVID**

**Témavezető:**

Náfrádi Katalin Ph.D.  
egyetemi adjunktus

FÖLDTANI ÉS ŐSLÉNYTANI TANSZÉK  
SZEGED  
2017

## 1. BEVEZETÉS

Ha éghajlatváltozásról esik szó, a lehető legnagyobb időbeli felbontás elérése a cél, ugyanis számos olyan rövid idő alatt bekövetkező folyamatot befolyásolnak a klimatikus események, melyek vizsgálatára a több száz éves felbontású adatforrások nem tudnak megfelelő minőségű és mennyiségű információval szolgálni. Ilyenek lehetnek például a szélsőséges időjáráshoz kapcsolódó mezőgazdasági „katasztrófák”, amiket az aszály, vagy adott esetben a megszorodott rovarok és rágcsálók okozhatnak, ezzel súlyos élelmiszerellátási zavarokat indukálva, melyeknek jelentős gazdasági és társadalmi következménye lehet már rövidtávon is. De ide sorolhatók az egyre gyakrabban jelentkező hőhullámok (Della-Marta et al. 2007) egészségünkre, és természetesen az éghajlat- és környezetváltozások állat- és növényvilágra gyakorolt hatásai is. A több száz, vagy akár több ezer éve történt eseményeket évtizedes, vagy éves skálán vizsgálni azonban nem könnyű. Mindössze néhány adatforrás alkalmas arra, hogy ilyen távlatokban megfelelő minőségű és mennyiségű információt tároljon. Ezek közül talán a legismertebbek a fák évgűrűi, melyek, köszönhetően éves növekedési ciklusuknak, nagy mennyiségű adatot raktároznak a fát érő külső hatásokról fejlődésük minden esztendejéből.

Értekezésemben az évgűrűkutatás zászlóshajójának számító dendroklimatológia segítségével keresem a választ arra, hogy vajon a közelmúltban lezajlott (és természetesen napjainkban is tartó) klímaváltozás milyen hatással volt az erdős ökoszisztémára, és ezen belül a hazai erdeifenyő állomány klíma-növekedés kapcsolatára? Ennek érdekében megvizsgáltam, hogy mely éghajlati paraméterek befolyásolják leginkább a magyarországi erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) állományok évgűrűnővekedését, és hogy ezen

paraméterek hogyan változtak meg az elmúlt 100 év során, valamint, hogy ez a változás milyen hatással volt a fenyők klíma-növekedés rendszerére. E mellett fontosnak tartottam megvizsgálni, hogy az olyan speciális évgyűrűkarakterek, melyek a szakirodalom szerint szélsőséges külső körülményekhez köthetők, megjelennek-e a hazai erdeifenyőkben, és ha igen, gyakoriságuk hogyan változott az elmúlt 100 évben?

Annak ellenére, hogy Magyarországon az erdővel borított területek 5,8%-át erdeifenyő fedi, ezzel megelőzve a gyertyánt és a bükköt is, ezen faj meglehetősen alulreprezentált az erdészeti- és évgyűrűkutatásban. Bár hazánkban nem őshonos, régóta résztvevője, sőt, rendkívül fontos eleme az erdős ökoszisztémának, köszönhetően magas adaptációs képességének, mely alkalmassá teszi az olyan területekre való telepítésre is, ahol nagyobb tápanyagigényű fajok nem tudnának életben maradni.

Az alkalmazkodás azonban nem feltétlenül jelent zavartalan növekedést. A magyarországi erdeifenyők éghajlati válaszreakcióinak változását azért is fontos vizsgálni, mert ahogy arra nemzetközi kutatások is rámutatnak, a jövőben az erdeifenyők növekedési tendenciái jelentősen módosulhatnak Európa ezen részén (Reich-Oleksyn 2008; Bauwe et al. 2015), sőt, már a jelenlegi körülmények is mérhető negatív hatással vannak egyes hazai erdeifenyő állományokra (Gulyás et al. 2014).

Disszertációmban négy eltérő földrajzi elhelyezkedésű és különböző növekedési környezetű mintaterület erdeifenyő állományát vizsgáltam meg, hogy a fentebb említett kérdések megválaszolására kísérletet tegyek, hogy munkámmal hozzájáruljak a magyarországi évgyűrűkutatás eredményeihez, és hogy bővítsem az erdeifenyők növekedéséről jelenleg meglévő ismereteket.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A mintavételezés és a mintafeldolgozás a dendrokronológia klasszikus módszertanát szem előtt tartva történt meg (Stokes-Smiley 1968). Az évgyűrűszélességek meghatározása *on-line* és *off-line* technológiával, tehát számítógépes képanalízis és mikroszkóp alkalmazásával zajlott. A munka során az évgyűrűk teljes szélessége mellett a korai és a kései pászták szélességét is lemértem. Az adatbázisokból az 1915 előtt képződött évgyűrűszélességeket eltávolítottam, majd (az adatsorok ellenőrzése után) átlagolással elkészítettem az egyes területi évgyűrűkronológiákat.

Az évgyűrűsorok standardizálását egy harmadfokú spline illesztésével végeztem (50%-os vágási frekvencia az egyes görbék 67%-ánál) (Cook-Peters 1981), majd az autókorreláció eltávolítása és egy kétsúlyú robusztus átlagolás után jöttek létre az adott területekre vonatkozó reziduális évgyűrűindexek (Cook 1985). Az egyes évgyűrűindexekben lévő klimatikus jel megbízhatóságának tesztelése EPS (*Expressed Population Signal*) kalkulációval történt, melyet 25 éves mozgó ablakokban, egy éves ugrásokkal végeztem el, az általánosságban elfogadott 0,85-ös értéket tekintve a szignifikancia küszöbértékének (Wigley et al. 1984). Végül a minták közötti átlagos Pearson-féle korrelációs együtthatót ( $R_{bar}$ ) is meghatároztam, melyet szintén mozgó ablakos eljárással, az EPS-sel megegyező paraméterek alapján kaptam meg.

A területi évgyűrűindexek és a klímaadatok kapcsolati szintjének meghatározásához bootstrap korrelációt használtam. Mivel az adott év évgyűrűszélességére kimutatható hatással lehet a megelőző év éghajlati jellege, minden korrelációt az évgyűrűnövekedést megelőző év májusától, az évgyűrűnövekedés évének októberéig végeztem el. A vizsgálat során nem

kizárólag havi, hanem összevont, évszakos adatokat is elemeztem. A klímaváltozás hatásainak kimutatása miatt az évgyűrűnövekedés és a klímaadatok közti kapcsolatot időben mozgó Pearson korrelációval is meghatároztam, melyet 25 éves szimmetrikus csúszó ablakokban számítottam ki.

A speciális évgyűrűszerkezet meghatározása mikroszkóp alatt, vizuális úton történt. Egy évet akkor tekintettem természetestől eltérő évgyűrűkarakterrel jellemezhetőnek, ha az egy adott fából levett mindkét mintában megjelent, és legalább három fában azonosítható volt a vizsgált évben. Osborne et al. (1997) formulája alapján kiszámítottam a stabilizált gyakorisági értéküket, mely megadta, hogy az egyes évekből az adott évgyűrűkarakterek megjelenése mennyire volt gyakori. A megkapott értékek és a klímaadatok (beleértve az aszályindex adatait is) kapcsolatát Spearman-féle rangkorrelációval számszerűsítettem, az évgyűrűnövekedést megelőző év májusától az évgyűrűnövekedés évének októberéig. Az éghajlati jel vizsgálatához hasonlóan ebben a lépésben is elvégeztem hosszabb, szezonális időszakok klímaadatainak összevetését a természetestől eltérő növekedési jegyek stabilizált gyakoriság adataival. A korrelációanalízisbe csak azokat az éveket vettem bele, amikor az adott speciális évgyűrűkarakter észlelhető volt.

Annak érdekében, hogy megfelelő módon tudjam értékelni a megvizsgált erdefenyő állományok klíma-növekedés kapcsolatát, és elsősorban annak időbeli változásáért felelős éghajlati folyamatokat, elemzést készítettem az elmúlt száz év klimatikus változásairól, melyre a griddelt CRU TS 3.23 0.5°x0.5° (Harris-Jones 2015) adatbázist használtam. A változások szemléltetése érdekében a vizsgálati időszakot négy 25 éves periódusra osztottam, majd ezekben az intervallumokban, a SAI index (*Standardized Anomaly Index*) módszertanát követve (Katz-Glantz 1986)

havi és évszakos, a referencia időszak szórásával normált anomália-értékeket számoltam. A csapadék és a hőmérséklet együttes hatását és a szélsőséges klimatikus viszonyok esetleges befolyását ariditási értékekkel számszerűsítettem. Az aszályindexet minden területre kiszámoltam a korábbiakban megkapott csapadék- és hőmérsékletanomáliák felhasználásával.

### 3. MINTATERÜLETEK

A mintaterületek kiválasztása során fontos szempont volt, hogy a vizsgálni kívánt időszakot, jelen esetben az elmúlt száz évet, recens, élő fákból származó mintákkal tudjam átfogni. Bár Magyarországon sok helyen található kisebb-nagyobb mennyiségű erdeifenyő, a hazai erdőgazdálkodási berendezkedés miatt a fákat nyolcvan éves koruk környékén kivágják. Emiatt a legtöbb erdeifenyővel borított területen száz évnél idősebb példányok nem, vagy csak igen kis számban fordulnak elő. Lényeges szempont volt továbbá, hogy a mintaterületek eltérő termőhelyi tulajdonságokkal rendelkezzenek, ezáltal a kapott adatok elemzése és összehasonlítása egy összetettebb eredményhalmaz létrehozásának lehetőségét vetítette elő.

A disszertáció munkálataira négy mintaterületet választottam ki:

- Bakonyalja. A Fenyőfői homokvidéken, Fenyőfő és Bakonyszentlászló között elhelyezkedő Fenyőfői Ösfenyvest nyugatról Bakonykoppány és Bakonyszücs, keletről pedig Bakonyszentlászló és Vinye határolja, maximális szélessége 3-4 km, hosszúsága 10-15 km, tengerszint feletti magassága 250 és 300 méter között ingadozik. Az erdő faállományának döntő többségét a meszes, másodlagosan kialakult futóhomokon és gyengén humuszos homokon (Szmorad-Tímár 2005) fejlődő erdeifenyő

adja, mely a lombkorona szintet is uralja. Kora meglehetősen változó, a jóval száz év alatti egyedek mellett akár 160-170 éves fák is megtalálhatók a területen. A Bakonyalja éghajlata mérsékeltlen meleg, évi átlaghőmérséklete 10,4°C. A legmelegebb júliusban regisztrálható (20,6°C), míg az év leghidegebb periódusa a január -1,1 °C-os átlaghőmérséklettel. Évi csapadékbevétele 650 mm körül mozog, melynek zöme a késő tavaszi-kora nyári (május-július) időszakban hullik, júliusi maximummal (75 mm). Legszárazabb hava a január (36 mm) (Harris-Jones 2015).

- **Őrség.** A magyar-szlovén határtól néhány kilométerre elhelyezkedő terület földrajzi beosztás alapján a Nyugat-magyarországi peremvidék nagytájon, azon belül pedig a Felső-Zala-völgy kistájon található. Természetföldrajzi adottságait tekintve a területet mély völgyek és lapos hegyhátak jellemzik, tengerszint feletti magassága 270 méter körül ingadozik. Talajviszonyai kedvezőbbek, mint a bakonyaljai mintaterületé, legelterjedtebb talajtípusa a barna erdőtalaj. Az Őrség éghajlata kiegyensúlyozottnak mondható, a vegetációs struktúráját elsősorban az óceáni hatások alakítják, a kontinentális éghajlatra jellemző szélsőségek nem, vagy csak kis mértékben érvényesülnek (Dávid 2008). Csapadékbevétele magyarországi viszonylatban kiemelkedő, közel 800 mm évente, melynek nagy része a tenyészidőszakban, azon belül is a június-augusztusi periódusban hullik. Legnedvesebb hónapja a július (96 mm), míg legszárazabb a február (34 mm). Évi középhőmérséklete 10,2°C, legmelegebb hava a július, 20,2°C-os átlaghőmérséklettel (Harris-Jones 2015).
- **Mecsek.** A mintaterület a hegység déli részén, Kővágószőlős közelében helyezkedik el, magassága 350 és 400 méter között ingadozik. Éghajlata

mérsékeltlen meleg–mérsékeltlen nedves (Dövényi 2010). A Mecsek-hegység kistájon található terület évi középhőmérséklete 10 °C, legmelegebb hava a július, míg leghidegebb a január. Az évi csapadékmennyiség a Bakonyaljához hasonlóan alakul, átlagosan 650 mm körül mozog, melynek nagy része a tenyészidőszakban hullik le. Hegyvidéki jellegéből adódóan az egész kistájat erdőtalajok borítják, melyek közül a mintaterületet agyagbemosódásos barna erdőtalaj fedi, mely jellemzően gyenge vízvezető, de nagy vízraktározó képességgel írható le. Az erdefenyő elsősorban tölgygel és bükkal alkot elegyet (Borhidi 2003), és bár jelentősége elmarad az előzőekben említett mintaterületekhez képest, száz évnél idősebb egyedeket is tartalmaz az állomány.

- Nyírség. A Nyírséget reprezentáló mintaterület a középtáj déli részén, Hajdú-Bihar megyében, a Dél-Nyírség kistájon található Vámospércs és Nyírmártonfa között. Tengerszint feletti magassága 120 méter körül ingadozik, felszínét ÉÉK-DDNY-i csapású völgyek tagolják. A terület éghajlata mérsékeltlen meleg, száraz (Dövényi 2010), évi középhőmérséklete 10 °C, a legmelegebb júliusban, míg a leghidegebb januárban tapasztalható. Évi csapadékbevétele a többi mintaterülethez képest meglehetősen kevés, átlagosan 570 mm. A legcsapadékosabb hónap a július, míg a legszárazabb a január. A kistájat talajtani szempontból a homoktalajok uralják, melyek közül a futóhomok talaj a legjellemzőbb (Dövényi 2010). Alföldi viszonylatban a területet borító erdőségek aránya magas, azonban a korábban jellegzetesnek számító homoki tölgyeseket ma már több helyen felváltották az ültetvények, melyek nagy része akác.



#### 4. ÉRTEKEZÉSBE BEMUTATOTT EREDMÉNYEK TÉZISSZERŰ ÖSSZEFOGLALÁSA

1. Négy mintaterületről összesen 103 erdeifenyő évgyűrűmintázatát vizsgáltam meg. Az elvégzett elemzések eredményei alapján elmondható, hogy Magyarországon a nyári, azon belül is a júliusi csapadék az erdeifenyők évgyűrűnövekedésének fő limitáló tényezője. E mellett jelentős hatása van a február-márciusi időszak, valamint a nyár hőmérsékletének is. A két klímparaméter természetesen nyáron egymás ellen hat, a csapadék pozitív irányban befolyásolja az évgyűrűk fejlődését, ezzel elsődleges szerepet játszva azok fejlődésében, a hőmérséklet pedig elsősorban a hasznosítható csapadék mennyiségének szabályozásával negatív hatást gyakorol a kialakuló évgyűrű szélességére. Ezzel szemben a késő téli-kora tavaszi időszakban a hőmérséklet pozitív kapcsolatban áll az évgyűrűnövekedéssel.
2. A hőmérséklet-emelkedés hatására a késő téli-kora tavaszi időszak termikus viszonyainak évgyűrűnövekedésre gyakorolt pozitív hatása az évezred végére teljesen eltűnt a magyarországi erdeifenyő állományok klíma-növekedés kapcsolatából.
3. A nyári hőmérséklet és az évgyűrűszélességek közti kapcsolat a melegedés hatására nem erősödött, hanem gyengült, vagyis annak ellenére, hogy jelentősen nőtt mindhárom nyári hónap hőmérséklete, a növekedésre gyakorolt indirekt hatásuk visszaesett.
4. Annak ellenére, hogy a csapadék mennyisége minden mintaterületen csökkent az elmúlt száz év során, a klíma-növekedés kapcsolatra ennek a vártnál kisebb hatása van. Jellemzően júliusban tapasztalható

visszaesés a korrelációs értékekben, de a teljes nyári évszakban alapvetően stabil kapcsolatról beszélhetünk.

5. A csúszókorrelációs vizsgálat alapján kijelenthető, hogy a teljes vizsgálati időszakra számolt (évgyűrűszelesség-klíma) kapcsolati értékeket az esetek többségében jelentős időbeli instabilitás jellemzi, ami (az erdefenyők esetében legalábbis) a korábbi klíma-növekedés kapcsolatra irányuló ismeretanyag újragondolását és felülvizsgálatát helyezi kilátásba.
6. A külföldi eredményekkel ellentétben (Campelo et al. 2006; de Luis et al. 2011; De Micco et al. 2013, 2016) sem a Bakonyalján, sem pedig az Őrségben nem sikerült a nyári hőmérsékleti viszonyokhoz kötni az éven belüli sejtsűrűség ingadozások megjelenését, pedig mindkét mintaterület termikus viszonyai jelentősen emelkedtek az elmúlt 100 év során.
7. A szokatlanul vékony évgyűrűk száma és gyakorisága is ugrásszerűen növekedett az elmúlt 25 évben, jól illeszkedve a hőmérséklet-emelkedés okozta aszályos időszakok egyre gyakoribb megjelenéséhez. Az elvégzett vizsgálatok alapján elmondható, hogy a nyári csapadék mennyisége a vékony évgyűrűképződés elsősorú stresszfaktora, de az esetek többségében az évgyűrűnövekedést megelőző nyár hőmérsékleti viszonyai is rendkívül fontosak.
8. A külföldi kutatások tapasztalataira támaszkodva (Bauwe et al. 2015) a disszertáció eredményei alapján a jelenlegi éghajlati trendeket figyelembe véve hosszú távon a hazai erdefenyő állomány évi növekményének visszaesésére kell számítani.

## **A DOLGOZAT TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK**

- MISI D, NÁFRÁDI K (2017) Growth response of Scots pine to changing climatic conditions of the last 100 years: a case study from Western Hungary. *Trees – Struct Funct* (in press) doi: 10.1007/s00468-016-1517-z
- MISI D, NÁFRÁDI K (2016) Possibility of identification of negative extreme climatic events using *Pinus sylvestris* tree-rings in Transdanubia, Hungary. *Dendrobiology* 75: 45-54. doi: 10.12657/denbio.075.005
- MISI D, NÁFRÁDI K (2016) Late winter - early spring thermal conditions and their long-term effect on tree-ring growth in Transdanubia, Hungary. *Baltic For* 22/2: 203-211.
- MISI D (2015) Az évgyűrűk, mint éghajlati adattárak. *Természet Világa* 146/12: 557-559

## **A TÉZISFÜZETBEN FELHASZNÁLT IRODALOM JEGYZÉKE**

- BAUWE A, JURASINSKI G, SCHARNWEBER T, SCHRÖDER C, LENNARTZ B (2015) Impact of climate change on tree-ring growth of Scots pine, common beech and pedunculate oak in northeastern Germany. *iForest* 9: 1-11. doi: 10.3832/ifor1421-008
- BORHIDI A (2003) Magyarország növénytársulásai. Akadémiai Kiadó, Budapest, 579 p.
- CAMPELO F, NABAIS C, FREITAS H, GUTIÉRREZ E (2006) Climatic significance of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in

- Pinus pinea* from a dry Mediterranean area in Portugal. *Ann For Sci* 64: 229-238. doi: 10.1051/forest:2006107
- COOK ER (1985) A Time Series Analysis Approach to Tree-ring Standardization. PhD értekezés, The University of Arizona, Tucson, 171 p.
- COOK ER, PETERS K (1981) The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 41: 45–53.
- DÁVID J (2008) Őrség erdőfejlesztési terve. MgSzH Központ Erdészeti Igazgatóság. Balatonfüred, 147 p.
- DE LUIS M, NOVAK K, RAVENTÓS J, GRIČAR J, PRISLAN P, ČUFAR K (2011) Climate factors promoting intra-annual density fluctuations in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) from semiarid sites. *Dendrochronologia* 29: 163-169. doi: 10.1016/j.dendro.2011.01.005
- DE MICCO V, BATTIPAGLIA G, CHERUBINI P, ARONNE G (2013) Comparing methods to analyse anatomical features of tree rings with and without intra-annual density fluctuations (IADFs). *Dendrochronologia* 32: 1-6. doi: 10.1016/j.dendro.2013.06.001
- DE MICCO V, CAMPELO F, DE LUIS M, BRÄUNING A, GRABNER M, BATTIPAGLIA G, CHERUBINI P (2016) Intra-annual density fluctuations in tree rings: how, when, where, and why? *AIWA Journal* 37/2: 232-259. doi: 10.1163/22941932-20160132
- DELLA-MARTA PM, LUTERBACHER J, VON WEISSENFLOH H, XOPLAKI E, BRUNET M, WANNER H (2007) Summer heatwaves over western Europe 1880–2003, their relationship to large-scale forcings and predictability. *Clim Dynam* 29: 251–275 doi:10.1007/s00382-007-0233-1

- DÖVÉNYI Z (Ed.) (2010) Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet. Budapest, 876 p.
- GULYÁS K, BIDLÓ A, HORVÁTH A (2014) Causes of the Forest Die-off in a Pinus Forest (*Pinus sylvestris*) in Fenyőfő. In: POLGÁR A, BAZSÓ T, NAGY G, GÁLOS B (Eds.) Local and regional challenges of climate change adaptation and green technologies. Proceedings. Sopron, Hungary, 60-67 p.
- HARRIS I, JONES PD (2015) CRU TS3.23: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 3.23 of High Resolution Gridded Data of Month-by-month Variation in Climate (Jan. 1901- Dec. 2014). Centre for Environmental Data Analysis, 09 November 2015. doi:10.5285/4c7fdfa6-f176-4c58-acee-683d5e9d2ed5.
- KATZ RW, GLANTZ MH (1986) Anatomy of a rainfall index. Mon Weather Rev 114: 764–771. doi: 10.1175/1520-0493(1986)114<0764:AOARI>2.0.CO;2
- OSBORN T, BRIFFA K, JONES PD (1997) Adjusting variance for sample-size in tree-ring chronologies and other regional-mean timeseries. Dendrochronologia 15: 89-99.
- REICH PB, OLEKSYN J (2008) Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north. Ecol Lett 11: 588-597. doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01172.x
- STOKES MA, SMILEY TL (1968) An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press, Chicago, 73 p.
- SZMORAD F, TÍMÁR G (1995) Növénytársulástani és – ökológiai tanulmányok. Tilia 1: 1-226.
- WIGLEY TML, BRIFFA KR, JONES PD (1984) On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and

hydrometeorology. J Clim App Meteorol 23: 201-213. doi:  
10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2