

MISI DÁVID

Az évgyűrűk mint éghajlati adattárak

Sokan tudják, hogy a mérsékelt égvn erdeit alkotó fák kora pontosan, de legalábbis jó közelítéssel megállapítható törzsük alsó részében lévő évgyűrűk megszámlálásával. Az már kevésbé ismert, hogy a széles és a keskeny évgyűrűk váltakozásával kirajzolódó minta összehasonlítható egy adott erdőn belül növekvő populáció különböző egyedei között, így pontos információt kaphatunk egy az erdő avarjában heverő kidőlt fa koráról, és arról is, hogy melyik évben dőlt ki. Ezt az analógiát követve eljuthatunk oda, hogy nemcsak az erdő bizonyos egyedeinek korát határozzuk meg, hanem olyan épületeket is, melyek faanyagát jó eséllyel a környezetében lévő erdők szolgáltatták.

Ezt a pontos datálási technikát annak köszönhetjük, hogy az évgyűrűk növekedését nagyban befolyásolják a klimatikus viszonyok, a kedvező és a kedvezőtlen feltételek évenkénti váltakozása. A növekedés szempontjából kedvező és kedvezőtlen körülményeket a csapadék és a hőmérséklet szabályozza: optimális viszonyok között vastag, míg ellenkező esetben vékony évgyűrűk keletkeznek. Mivel klimatikus szempontból nincs két egyforma év, így az évgyűrűszélességek is váltakozni fognak. A technikát, melynek segítségével az évgyűrűkben található mintákat összevethetjük a különböző fák között, keresztadatálásnak nevezzük. Alaptétele, hogy ha két vagy több fa életének valamely szakasza egybeesik, akkor évgyűrűgörbéik lefutása is nagyon hasonló lesz az átfedő periódusban. A sokszor hosszadalmas és nagy precizitást igénylő folyamat eredményeként pontos naptári dátumok társíthatók az évgyűrűszélességekhez, így az idősor kezdő időpontjának ismeretében (pl. ha az első minta élő fából származik) és a felhasznált fák korának, mennyiségének függvényében akár ezer évekre visszanyúló abszolút kronológia készíthető, mely a későbbi kormeghatározások alapja lehet a területen.

Természetesen nem minden esetben hozható létre ismert kezdőpontú kronológia. Az ilyen esetekben ún. lebegő kronológiákról beszélünk, melyek korolásához elengedhetetlen egy, az

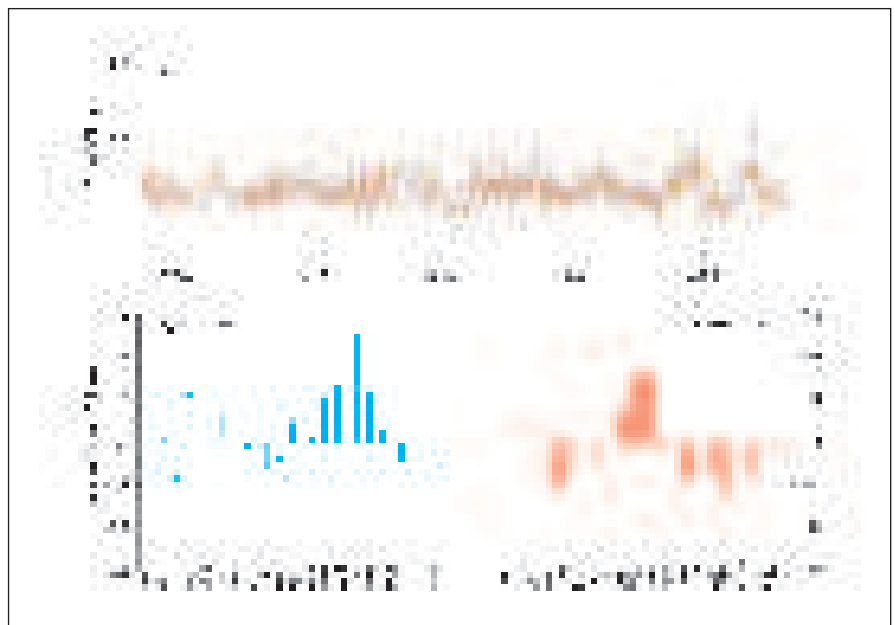
adott területre érvényes abszolút kronológia.

A fák (*dendron*, görög) és az idő (*chronos*, görög) tudományát, mely az évgyűrűk kormeghatározásával foglalkozik, dendrokronológiának nevezzük. Első alkalmazása az Arizona állambeli Lowell Astronomical Observatory egyik munkatársa, Andrew E. Douglass nevéhez köthető. A csillagász egyik fő kutatási területe a napfolttevékenység, valamint annak a földi klímára, elsősorban a csapadék mennyiségére gyakorolt hatása volt. Douglass munkáját nehezítette, hogy az 1900-as évek elején az éghajlati adatsorok nagyon ritkák, és elég hiányosak voltak ahhoz, hogy egyértelmű kapcsolatot állapíthasson meg a napfolttevékenység ciklikus változása és az időjárás ingadozása között. Egy észak-arizonai útja során megfigyelte, hogy a kivágott fenyők évgyűrűinek szélessége folyamatos változásban van a törzsben, valamint hogy az általuk kirajzolt minta erősen különbözik attól, amit New England zárt erdeiben korábban megfigyelt, ahol a fák növekedését elsősorban az erdő sűrűsége

miatti fényért való harc befolyásolta. Douglass arra a hipotézisére alapozva kezdte el vizsgálni az évgyűrűszélességeket, miszerint az arizonai erdők fájának növekedésében fő stresszfaktor a csapadék mennyisége, remélve, hogy a csapadékosabb és szárazabb periódusok egyértelműen követhetők lesznek az évgyűrűk szélességeinek segítségével (FRITTS, 1976). Több száz mintát analizálva megalkotta a már említett keresztadatálás technikáját. Eredményeit könyvekben, publikációkban közölte, majd 1937-ben az Arizonai Egyetemen (Tucson) megalapította az Évgyűrűkutatási Laboratóriumot, mely az első, kifejezetten az évgyűrűkutatásnak szentelt intézmény lett. A század második felére az új tudományterület elért Európába is, ahol elsőként Bruno Hubert német kutató alkalmazta, majd őt követték más nemzetbeli kollégái is, így mára a Föld minden pontján alkalmazott diszciplína lett.

A magyarországi kormeghatározással kapcsolatos évgyűrűkutatás Szabó Zoltán (1940–2003) munkásságával kezdődött. Az általa írt 22 oldalas „A

1. ábra. (A) Az évgyűrűindex és (B) a csapadék- valamint (C) hőmérsékletadatok korrelációs szintjei az 1914–2013-as periódusban. A telített oszlopok a szignifikáns korrelációs értékeket jelölik (B, C)



dendrokronológiáról” című összefoglalás (Szabó, 1975), melyben kitér a módszerre, a fa felépítésére, az évgyűrű-növekedést meghatározó tényezőkre, a dendroklimatológiára, a mintavételre és a minták feldolgozására, alapműnek számít a hazai szakirodalomban. Őt követően Horváth Emil hidrológus használta a fák évgyűrűit a Vértesben végzett kutatásaihoz. Módszerei lényegét 1981-ben publikálta a Magyar Hidrológiai Társaság Vándorgyűlésén Pécsen (Horváth, 1981). 2004-ben egy cikk keretében összefoglalta 25 éves kutatómunkájának eredményeit, mely 24 darab, főként a Vértes területéről, valamint 17 darab Debrecenből származó mintán alapult (Horváth, 2004). Horváth Emil a Bakony-Vértes-Székesfehérvár háromszögére 1559–1993-ig terjedő idősort állított össze. A dendrokronológia régészeti alkalmazásának első magyarországi eredményeit Grynæus András kandidátusi munkája foglalta össze (Grynæus, 1997). Legfontosabb eredményeként megalkotta a 2004-ben publikált közép-magyarországi tölgy alapkronológiát, mely 13 mintaterület mintegy 90 recens mintájának vizsgálatából készült el (Grynæus, 2004). Fontos megemlíteni Morgós András is, aki a Magyar Nemzeti Múzeumban végezte és végzi dendrokronológiai kutatásait. Több hazai és külföldi, elsősorban kormeghatározással és állagmegőrzéssel kapcsolatos projekt résztvevője volt. 2001-ben Hovászky Györggyel megalkották a DenScan nevű számítógépes programot, mely képes volt a mérési adatok rögzítésére, az évgyűrűsorok szinkronizálására, az adatok grafikus megjelenítésére, valamint .raw és .raw kiterjesztésű fájlok konvertálására. Napjaink honi évgyűrűkutatásának egyik legkiemelkedőbb alakja Kern Zoltán, akinek nevéhez több szakkikk is fűződik, érintve a terület több szegmensét is, például csapadék- és hőmérséklet-rekonstrukció, izotópos vizsgálatok és klíma-növekedés kapcsolatalemzés.

A dendrokronológia térhódításával több, az évgyűrűk általi kormeghatározásra épülő társtudomány is terjedni kezdett. Napjainkban számos kutató dolgozik a múltbéli ökológiai, geomorfológiai vagy éppen a hidrológiai változások évgyűrűk vizsgálatán alapuló elemzésével, azonban a szakterület húzóágává a klimatikus szempontok alapján elemző dendroklimatológia vált. Ez nem meglepő, hiszen manapság a globális felmelegedés és az ahhoz köthető folyamatok tanulmányozása a természetudományok legnagyobb figyelmet kapó területe.

Az egyre frissülő tudományos eredmények és az egymásnak sokszor el-

lentmondó forgatókönyvek világában a kutatók talán abban értenek egyet leginkább, hogy a jövőben esetlegesen bekövetkező változások kimenetele a múltban keresendő. Ez az elsősre paradoxonnak tűnő megközelítés az alapja az összes paleoklimatológiai kutatásnak: minél pontosabban megismerjük Földünk éghajlattörténetét és az abban lejátszódott folyamatokat, valamint az azok által generált természeti (és esetleges társadalmi) válaszokat, annál jobb becsléseket tudunk elkészíteni a jelenben gerjesztett és a jövőben bekövetkező változások kimenetelére. A dendroklimatológia széleskörű elterjedése mellett szól az is, hogy jól alkalmazható együtt a többi, már említett évgyűrűkutatási módszerrel, így komplex rekonstrukciók készíthetők el, de meg kell jegyezni, hogy mivel a fák élő organizmusok, haláluk után az őket érő külső környezeti hatások függvényében gyorsabb vagy lassabb ütemben amortizálódni kezdenek, ami erősen megrongálja évgyűrűszerkezetüket. Ennek a természetes folyamat miatt mind a dendroklimatológia, mind pedig a többi évgyűrűelemzésen alapuló tudományág alkalmazhatósága az elmúlt 10 000 évre, a holocénre korlátozódik, azonban ez a periódus is elegendő ahhoz, hogy a különböző trendek lefutása, és azok következményei tanulmányozhatók legyenek.

Az eddigi hazai kutatások főként tölgyek évgyűrűvizsgálataira fókuszáltak, ami nem meglepő, tekintve azok hosszú élettartamát és azt, hogy korábban kedvelt építészeti alapanyag volt, így viszonylag nagy mennyiségben található meg akár több száz évvel ez előtről származó egyedek darabjai is különböző épületekben. Az általunk elvégzett kutatásban erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) évgyűrűszélességeket vizsgáltunk, mely faj élettartama ugyan rövidebb a tölgyénél, de a Bakony északnyugati részén lévő Fenyőfői Ósfenyvesben több, 130–150 éves, vagy akár idősebb példány is található. A fenyves a közel 30 km² területű fenyőfői homokvidéken, Fenyőfő és Bakonyszentlászló között helyezkedik el. A terület maximális szélessége 3–4 km, hosszúsága 10–15 km. Tengerszint feletti magassága nem haladja meg a 300 métert, de sehol nem csökken 250 méter alá. Az évi csapadék (679 mm) zöme a tenyészidőszakban (360–380 mm) hullik le. Ennek jelentős része (209 mm) a június-július-augusztus időszakra tehető. Legcsapadékosabb hónap a július (MAJER, 1988).

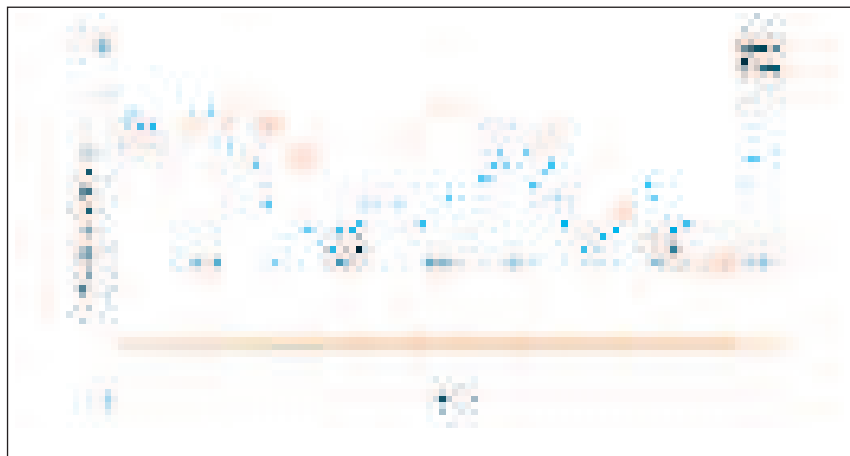
A terület klimatikus adottságai, a külföldi kutatási eredmények és a korábbi magyarországi dendroklimatológiai vizsgálatok (KERN ET AL. 1999) alap-

ján azt a null hipotézist állítottuk fel, hogy a csapadék az a meteorológiai elem, amely az ósfenyves faállományának évgyűrűnövekedését a leginkább befolyásolja, de a hőmérséklet hatását is minden elemzés során figyelemmel kísértük.

A jelen cikkben bemutatott vizsgálat-hoz szükséges mintákat két alkalommal, 48 erdeifenyőből gyűjtöttük be. A furatok elemzése során 3883 évgyűrűt mértünk le, melyekből egy 100 év hosszúságú kronológia készült. Bár az évgyűrűnövekedést döntő mértékben a fát érő külső hatások befolyásolják, léteznek ún. belső tényezők is, melyek fajonként eltérően, de hatással vannak az évgyűrűk vastagságára. A leginkább domináns hatás a fa korai éveiben jelentkezik, amikor minden faj nagyobb ütemben nő és vastagabb évgyűrűket növeszt, függetlenül a külső tényezőktől. A fiatal farészben található évgyűrűk ezért korlátozottan alkalmasak a további vizsgálatokra. Ennek a nem-klimatikus hatásnak a kiszűrése a dendroklimatológiai analízisek fontos lépése, mely speciális matematikai egyenletekkel történik, és eredménye egy dimenzió nélküli évgyűrűindex (**1/A. ábra**).

A klimatikus adatok és az évgyűrűindex kapcsolatának vizsgálata statisztikai úton valósul meg. Az első lépés az adatgyűjtés: a minél pontosabb eredmények érdekében célszerű a meteorológiai adatokat a mintaterülethez legközelebbi mérőállomásról beszerezni, a lehető legnagyobb hosszúságban. Jelen esetben a nemzetközi CRU TS 3.22 adatbázis (HARRIS - JONES 2014) hőmérséklet- és csapadékadatát használtuk fel az 1914–2013-as időszakban. A klimatikus adatbázis a csapadék esetében havi összegeket, míg a hőmérséklet esetében havi átlagokat tartalmaz. Ezek az adatok kerültek összehasonlításra a korábban elkészített indexszel: egy statisztikai mutatószám, a korrelációs koefficiens segítségével megállapítottuk, hogy a két adathalmazban (évgyűrűindex – csapadék adatok, évgyűrűindex – hőmérséklet adatok) történő változások kapcsolatban állnak-e egymással, és ha igen, ez a kapcsolat milyen erős. A korrelációs koefficiens 1 és -1 között változhat, a kapcsolat erőssége és típusa függvényében. Ha az érték 1, azt jelenti, hogy a két adatbázisban történő változások ugyanazt a trendet követik, ha pedig -1, az éppen ellentétes folyamatokat jelöl, ami szintén erős kapcsolatnak tekinthető. Nulla esetében a két adatbázis nincs statisztikai kapcsolatban egymással.

A korrelációelemzés a null hipotézisnek megfelelő eredményekkel zárult. A **1/B. ábrán** látható, hogy az évgyűrűin-



2. ábra. Az évgyűrűindex és a késő tél-kora tavaszi időszak csúszókorrelációs értékei 25 éves periódusokban az elmúlt 100 évben. A vízszintes szaggatott vonalak a 95%-os szignifikancia szintet jelölik

dex és a csapadékatatok között a legerősebb kapcsolat az aktuális év júliusában tapasztalható, és az is, hogy a korreláció elemzés nem kizárólag az évgyűrű kialakulásának évében lett elvégezve (január-december), hanem az azt megelőző tenyészidőszak nagy részében is (május-december). Erre azért van szükség, mert egy adott év évgyűrűségeire hatással vannak a növekedést megelőző esztendő klimatikus viszonyai is. Ez a hatás az ábrán is nyomon követhető: a fenyőfői térség erdeifenyő-állományának évgyűrűnövekedésére nemcsak a növekedési év júliusi (és kisebb mértékben májusi, júniusi, augusztusi) csapadékvizonyai vannak szignifikáns hatással, hanem a megelőző év szeptemberének termikus és hidrológiai jellemzői is.

A hőmérsékleti adatokat vizsgálva szintén a korábban előre jelzett tendenciák rajzolódnak ki (1/C. ábra). A korrelációs értékekből két dolog olvasható ki: (a) az értékek alacsonyabbak, a statisztikai elfogadhatóság küszöbe környékén mozognak, és (b) az eredmények a nyári időszakban szignifikáns negatív értékűek. Az első észrevételből látható, hogy a hőmérséklet valóban kisebb hatással van az évgyűrű növekedésére, de az is, hogy a nyári hónapokban némi negatív hatása van. Ez a következővel magyarázható: ahogy az korábban látható volt, a nyári csapadékevétel döntő az évgyűrű-növekedésben – minél több a csapadék, annál szélesebb az adott évi növekmény. Azonban a csapadék mennyiségét (ez vonatkozik a lehulló csapadék mennyiségére, és a párolgás mértékére is) nagyban befolyásolja a hőmérséklet. A kettő közötti kapcsolatot legegyszerűbben úgy lehet leírni, hogy ha tartósan magas a hőmérséklet,

akkor kevesebb a csapadék, és az is gyorsabban párolog (vagy adott esetben szivárog) el, így a növények számára kisebb mennyiség lesz hasznosítható. Ez a felhasználható csapadékmennyiséget kontrolláló közvetett hatás jelentkezik a negatív korrelációs értékekben.

A teljes vizsgálati ciklusra (1914–2013) elkészített korrelációelemzés után érdemes megvizsgálni, hogy a megkapott értékek hogyan változtak az elmúlt 100 évben. Ezt egy ún. csúszókorrelációs számítás segítségével tehetjük meg, melynek során (jelen esetben) 25 éves periódusokban, a vizsgálati ciklus első évétől kezdve évenkénti csúsztatásokkal (Pl.: 1914–1938, 1915–1939 és így tovább) megállapítjuk a klimatikus paraméterek és az évgyűrűindex kapcsolatának erősségét. Az így kapott adathalmazból jól kirajzolhatók a közep-távú időskálán bekövetkező változások. Jelen cikkben az év egyik legérdekesebb időszakának, a késő tél-kora tavaszi periódus hőmérsékleti viszonyait hasonlítottuk az évgyűrűnövekedés dinamikájához. Azért a február-márciusi időszakot választottuk, mert ahogy az a korrelációs adatokból is látszik, termikus viszonyai nagyban befolyásolják az évgyűrű szélességét, valamint a vegetációs időszak kezdetét. A 2. ábrán látható, hogyan változott a késő tél-kora tavaszi hőmérséklet évgyűrűsége befolyásoló hatása az elmúlt 100 év során.

Bár februárban is lényeges változások történtek, a legszembetűnőbb a múlt század második felében történő rendkívül erős visszaesés a márciusi hőmérséklet és az évgyűrűsége kapcsolatában. Az addig 0,4 és 0,6 között mozgó korrelációs együttható hirtelen nemcsak, hogy a szignifikancia szint alá esett, hanem

0 körül mozgott, tehát a kapcsolat statisztikailag megszűnt. Ezt a csökkenést minden bizonnyal a hőmérséklet hirtelen és nagyarányú emelkedése okozta. Bár emberi léptékben talán még nem annyira érezhető, hogy márciusaink egyre melegebbek (az elmúlt 100 év második 50 évének márciusai 1,4°C-al voltak melegebbek, mint az első felének ugyan-ezen hónapjai), a fák már reagálnak rá. Ironikus, de ha a rügyfakadás számára oly fontos késő tél-kora tavaszi időszak hőmérséklete túl magas, negatívan befolyásolja az évgyűrű növekedését. Jól látható, hogy ez a pozitívól negatívba forduló tendencia a szemünk előtt zajlik.

Eredményeinkből (és más, nemzetközi cikkekből is) az a következtetés vonható le, hogy a február és márciust érintő, és az egész kontinentst sújtó agresszív felmelegedés az elmúlt néhány évtizedben jutott el arra a pontra, ahol már nemcsak a nyári aszályokkal, de a vegetációs időszak kezdetének átalakításával is nagymértékben befolyásolja a fás vegetáció életciklusát. Δ

Irodalom

- FRITTS, H. C. 1976. Tree Rings and Climate. The Blackburn Press, New Jersey, USA.
- GRYNAEUS, A. 1997. Dendrokronológiai kutatások Magyarországon. Kandidátusi értekezés, Budapest, HU
- GRYNAEUS, A. 2004. A magyarországi dendrokronológiai kutatás eredményei és új kérdései. In: Monumenta Historica Budapestensis XIII. „Es tu scholaris” Ünnepi tanulmányok Kubinyi András 75. születésnapjára, pp. 87-102. Budapesti Történeti Múzeum, HU
- HARRIS, I. - JONES, P.D. 2014. CRU TS3.22: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 3.22 of High Resolution Gridded Data of Month-by-month Variation in Climate (Jan. 1901- Dec. 2013). NCAS British Atmospheric Data Centre, 24th September 2014.
- HORVÁTH E. 2004. Az évgyűrűs kormeghatározás hidrológiai vonatkozásai. In: Hidrológiai Közlemény, Vol. 84, No. 2, pp. 37-57.
- HORVÁTH, E. 1981. Az évgyűrű kronológia készítés hidrometeorológiai vonatkozása. In: Magyar Hidrológiai Társaság II. Országos Vándorgyűlése Pécs, 1981. július 1-2. pp. 129-134
- KERN, Z. - GRYNAEUS, A. – MORGÓS, A. 1999. Reconstructed precipitation for southern Bakony Mountains (Transdanubia, Hungary) back to 1746 AD based on ring widths of oak trees. In: Időjárás, Vol. 113, No. 4, pp. 299-314.
- MAJER, A. 1988. Fenyves a Bakonyalján. Akadémiai Kiadó, Budapest, HU
- SZABÓ, Z. 1975. Dendrokronológia. Gépeltekézirat.