

HAZAI BÜKKÖSÖK KÖRLAP-NÖVEKEDÉSÉNEK TRENDJEI A VÁLTOZÓ KLÍMA TÜKRÉBEN

Garamszegi Balázs¹ és Kern Zoltán²

¹ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

²Földtani és Geokémiai Intézet, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, MTA

Kivonat

Tanulmányunkban egy dunántúli és két északi-középhegységi mintaterület négy különböző korú bükkös állományából származó, reprezentatív mintafákon vizsgáltuk a körlap-növedékek sok évtizedes adatsorát. A vizsgált bükkösök kortól és élőhelytől függetlenül a növekedés lassulását, sőt az esetek többségében növekedéscsökkenést mutattak az elmúlt 30-40 év során. Bár a jelenség köthető a klimatikus viszonyok kedvezőtlen irányú változásához, a növekedés és a vizsgált aszályindexek (pár)évtizedes trendjei között egyértelmű lineáris kapcsolat nem állapítható meg.

Kulcsszavak: bükk, körlap-növedék, aszály, éghajlat, EQ, FAI

BASAL AREA GROWTH TRENDS OF HUNGARIAN BEECH FORESTS IN A CHANGING CLIMATE

Abstract

Multidecadal trends of mean basal area increments of beech from three sites and four different stand ages were investigated in Western and Northern Hungary. Regardless location and age, our findings show a slowdown in growth or even significant increment decrease for the past 30–40 years. Although the phenomenon is connected to unfavorable changes of climatic conditions, no clear linear relationship can be detected between the decadal trends of increments and the widely used forest aridity indices.

Keywords: beech, basal area increment, drought, climate, EQ, FAI

BEVEZETÉS

A mérsékelt övi fás szárú vegetációt érő környezeti hatások egyik reprezentatív és könnyen értelmezhető indikátorainak tekinthetjük az évgyűrűket (Grynaeus és mtsai 1994). Az évgyűrű-elemzés, azaz a dendrokronológia nagy előnye, hogy „expedíció-szerű” mintavételezések során, olyan helyeken is lehetővé teszi a hosszabb időskálán zajló folyamatok (pl. klímaváltozás) vizsgálatát, ahonnan más, rendszeresen gyűjtött információk (pl. fenológiai megfigyelések) nem állnak rendelkezésre. Az évgyűrűszélességekből jó köze-

lítéssel származtathatunk körlap-növedék adatokat is, amelyek magasabb dimenziójuk és számítási módjuk révén kiegyenlítettebben, a rövidebb időskálán jelentkező „zajoktól” megszűrve írják le az egyes fák, illetve faállományok növekedési viszonyait, lehetőséget adva a termőhely termőképességében és a fák vitalitásában bekövetkező szignifikáns változások megbízhatóbb felismerésére (Jump és mtsai 2006; Piovesan és mtsai 2008; Gillner és mtsai 2013). A klímaváltozás tükrében fokozott figyelmet kapnak a hazai bükkösök. Jelen tanulmány három magyarországi bükkösből származó reprezentatív mintafákon elemzi az elmúlt 60–110 éves időszak mellmagassági évgűrűszélességeinek adataiból számolt, átlagos körlap-növekedésben azonosított trendeket. Az növekedés és meteorológiai változók éves skálán azonosítható változékonysága közötti kapcsolatot külön tanulmányban kerül majd kiértékelésre.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A körlap-növedék adatsorokat a helyi klimatikus viszonyokkal, illetve azok változásaival hasonlítottuk össze. A különböző földrajzi elhelyezkedésű mintaterületek egyben különböző korú állományokat is jelentettek. Az egyik mintaterületről származó növedék-méréseket a kormegoszlás alapján két további rész-adatsorra osztottuk, lehetőséget adva ezáltal az eredmények tér- és időbeli értékelésére, összevetésére is.

Mintaterületek és éghajlati jellemzésük

A mintaterületek kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy kis számosságuk ellenére is képviseljék a hazai bükk előfordulás több helyszínét, különös tekintettel a (szárazsági) előfordulási határ közelében található állományokra. A vizsgált három mintaterületből kettő az Északi-középhegységéből, a Bükkből (maly, befa), egy pedig a Dunántúlról, a Keszthelyi-hegységéből (rezi) származott (1. táblázat). A különböző mintaterületek a földrajzi távolság ellenére számos jellemzőjükben (pl. a talajtípus és a lejtőkitettség) hasonlóságot mutattak, így az éghajlati különbségek fokozott érvényesülését várhattuk.

1. táblázat: A mintaterületek fekvése, valamint a bükkös állományok és a vizsgált mintafák néhány jellemzőjének összehasonlítása
Table 1: Location of sample sites and comparison of some stand characteristics (exposure, soil type, mixing species, age of sample trees etc.)

	maly1, 2	befa	rezi
Erdőrészlet	Mályinka 16/J, 17	Bélapátfalva 52/A	Rezi 15/D
Tszfm	500 m	500 m	200 m
Kitettség	É	ÉNy	ÉK
Talajtípus	ABET, barnaföld	barnaföld	barnaföld
Bükk elegyarány	85-100%	80%	69% (FELSZ)
Elegyfafajok	(KTT)	KTT, GY	CS, GY
Vizsgált fák kora	110–115, 80–85	55–65	80–100
Átlagos átmérő	48 cm	29 cm	43 cm
Átlagmagasság	31 m	21 m	28 m
Mintavétel éve	2010, 2015	2012	2014

Napjainkban a klímaváltozás iránti fokozott érdeklődés nyomán egyre rutinszerűbbé válik a különböző éghajlati adatsorok használata, beleértve a jövőre vonatkozó modellszimulációk eredményeit is. Nem szabad azonban megfeledkeznünk arról, hogy a viszonyítási alap, a múltbeli éghajlat pontos ismerete sem minden esetben triviális, különösen olyan lokális, sokszor igen változatos domborzati viszonyok között fekvő területeken, mint egy-egy erdőrészlet, nem beszélve az állomány saját éghajlat-szabályozó hatásáról.

Munkánk során a Magyarország területére jelenleg elérhető legpontosabbnak ítélt CARPATCLIM adatbázis éghajlati adatait használtuk (Szalai és mtsai 2013). Az adatbázis $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ -os, azaz nagyjából 10×10 km-es felbontású rácshálóra interpolált klímaadatokat tartalmaz az 1961 és 2010 közötti időszakra, melyek előzőleg homogenizált, nagy számú mért adaton alapulnak. A mintaterületek jellemzésére a hozzájuk legközelebb fekvő rácspontok adatait használtuk, két részre bontva az 50 éves adatsort, érzékeltetve ezzel a elmúlt félszáz év éghajlati változásait (2. táblázat). Az általános jellemzés során – csakúgy, mint a növedékgörbék menetének klimatikus viszonyokkal való összehasonlításánál – kiemelt figyelmet kaptak a szakirodalomban (különösen a bükk kapcsán) előszeretettel használt klímaindexek, így mindenekelőtt az EQ Ellenberg-hányados (Ellenberg 1988), valamint a FAI aszályindex (Führer 2010; Führer és mtsai 2011).

2. táblázat: A mintaterületek éghajlati jellemzése (éves átlaghőmérséklet, éves csapadékösszeg, EQ és FAI klímaindexek) az 1961–1985 illetve az 1986–2010-ig terjedő 25 éves időszakok során (adatok forrása: CARPATCLIM)

Table 2: Selected climate variables for the study sites over the 25-year periods of 1961–1985 and 1986–2010 (T_{ann} : annual mean temperature, P_{ann} : annual precipitation sum, EQ: Ellenberg quotient (Ellenberg 1988), FAI: forest aridity index (Führer et al. 2011); data source: CARPATCLIM)

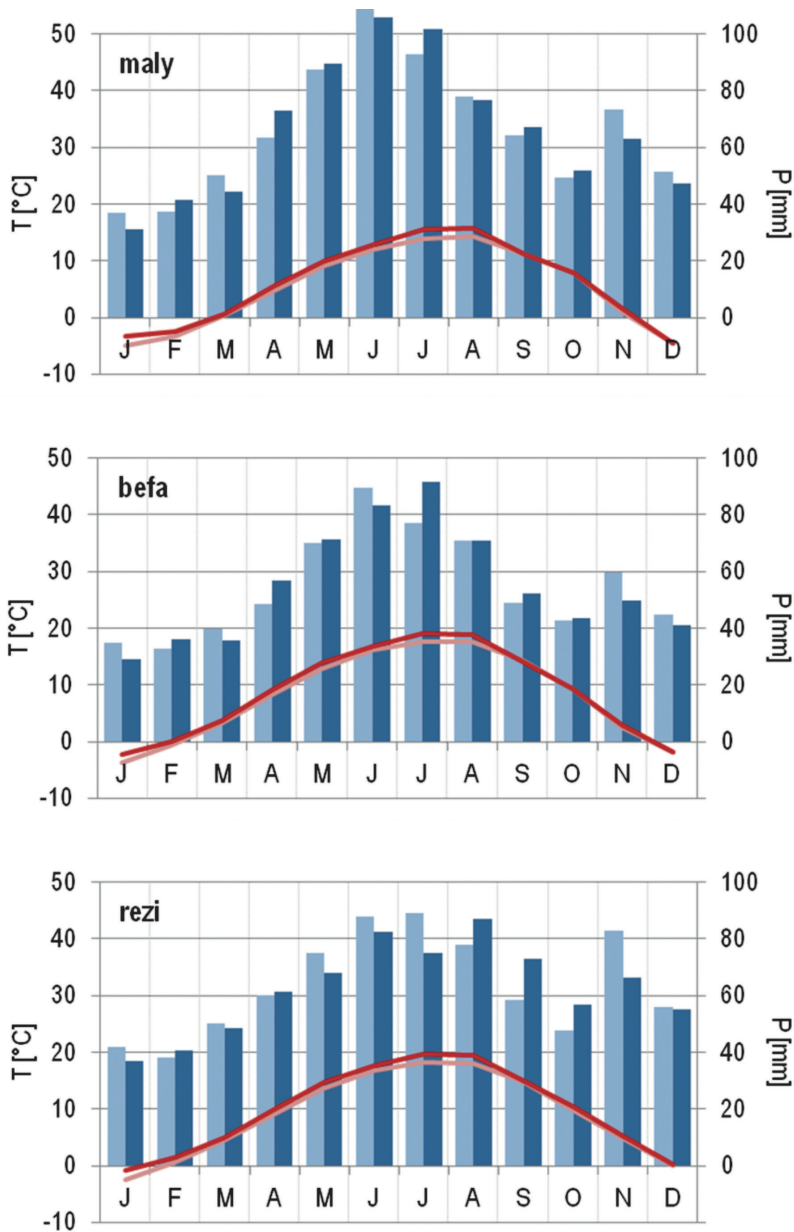
	maly		befa		rezi	
	1961–'85	'86–2010	1961–'85	'86–2010	1961–'85	'86–2010
T_{ann}	5,1 °C	5,9 °C	8,0 °C	8,6 °C	9,0 °C	9,8 °C
P_{ann}	800 mm	803 mm	659 mm	661 mm	765 mm	751 mm
EQ	17,4	19,3	26,7	28,8	24,0	26,2
FAI	3,03	3,17	4,57	4,64	4,35	5,05

A táblázat adatai alapján a mintaterületeken az éves átlaghőmérséklet $0,6$ – $0,8$ °C-ot emelkedett az elmúlt kb. 50 év során, miközben az éves csapadékösszeg a bükki területeken gyakorlatilag nem változott, kisebb csökkenés (kb. $-1,8\%$) egyedül rezi esetén volt megfigyelhető. Ennél árnyaltabb klimatikus jellemzést ad az aszályindexek használata. A $FAI < 4,75$ bükkös klíma határérték mellett (Führer és mtsai 2011) a maly és a befa mintaterületek a vizsgált 50 év során végig a bükkös klímazónán belül helyezkedtek el – noha utóbbi a határérték szoros közelében –, míg a rezi mintaterület éghajlatát 1986–2010 között már a gyertyános-tölgyes klímaosztály jellemezte. Az $EQ < 30$ határérték (Ellenberg 1988) szerint azonban a két 25 éves periódus átlagában mindhárom mintaterületen végig bükkös klíma uralkodott. Ez a különbség elsősorban az indexek különböző számítási módjának, az éghajlat változásának nem egyenletes éven belüli eloszlásának köszönhető. Részletesebb, havi adatok és változások éven belüli eloszlása az 1. ábrán láthatóak.

A 2. táblázat adataiból az is kiténik, hogy a CARPATCLIM számos előnye ellenére, még a sűrű, 10 km-es felbontás mellett is észrevehető torzítást eredményezhet az éghajlati adatmezőben. Így a maly mintaterületen a hőmérsékleti adatokat (és ezzel egyben az EQ és FAI értékeket is), annak magasságfüggése miatt minden bizonnyal alulbecsülte, lévén, hogy a vonatkozó grid-cella nagyobb része már a Bükk-fennsík szintjébe esik, míg a vizsgált állományok valójában a bükki kövek lábánál találhatóak.

Az éves átlaghőmérséklet és csapadékösszeg praktikus szempontok szerint elenyésző információt nyújt a klímaváltozásról, és kompakt formájuk miatt az aszályindexek is csak sejtetni engedik az éven belüli éghajlati változékonyságot. A klímadiagramokról látható, hogy a melegedés első sorban a téli és a nyári időszakban

következett be, míg az átmeneti hónapok hőmérséklete nem változott jelentősen. A csapadék tekintetében a bükki területeken a júliusi csapadék növekedése szembetűnő, míg rezi esetén az éves csapadék őszi hónapokra való látványos eltolódása figyelhető meg, ami a fák vegetációs időszak vízigénye szempontjából a változások kedvezőtlen irányát jelöli.



1. ábra: Mintaterületi klímadiagramok, a változó éghajlat éven belüli „dinamikája”. A világos színek az 1961-1985-ös, a sötét színek az 1986-2010-es időszakot mutatják

Figure 1: Study site climate diagrams, representing the intra-annual 'dynamics' of the changing stand climate. Light colors refer to the period of 1961-1985, darker colors to 1986-2010.

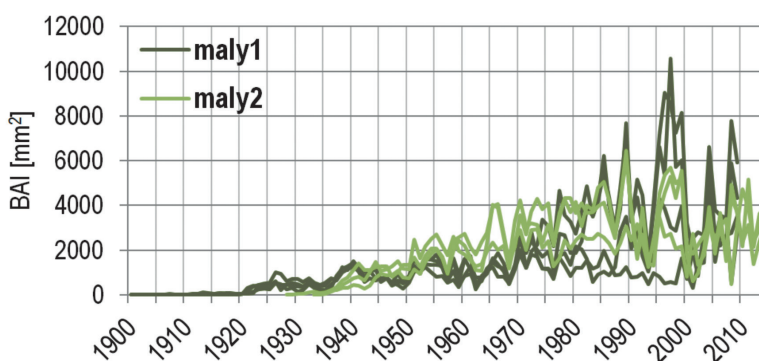
Mérés és adatfeldolgozás

Mintaterületenként hét-hét uralkodó magassági osztályú fából, mellmagasságból (~1,3 m) vett korongokat vizsgáltunk. A minták feldolgozását, az évgűrűszélességek mérését és a hibás adatok kiszűrését standard dendrokronológiai módszerek szerint végeztük. A korongokat az Eötvös Loránd Tudományegyetem Őslénytani Tanszékén található Budapest Tree-Ring Laboratory laborkörülményei között vizsgáltuk (Kázmér és Grynaeus 2003), az évgűrűszélességeket Rinntech TSAP-Win 4.67 szoftver segítségével, LINTAB mérőasztalon, 2–2 sugár mentén, századmilliméteres pontossággal rögzítettük. A nyers kronológiák különböző hosszúságú időszakokat fedtek le. A maly fák együttesen az 1897-2014, a befa az 1947-2011, a rezi adatok pedig az 1921-2014 közötti éveket fedték le. A rezi mintákról a mérések során kiderült, hogy mindegyiküket drasztikusan érintette a korai 2000-es évek aszályait követő dunántúli bükk-pusztulás. A mintafák egy része a kitermelés előtti, akár 5–6 év során már nem növesztett mikroszkóp alatt felismerhető évgűrűket, vagy a gombakárosítóktól elszíneződött, beteg szövetű növedéket rakott magára.

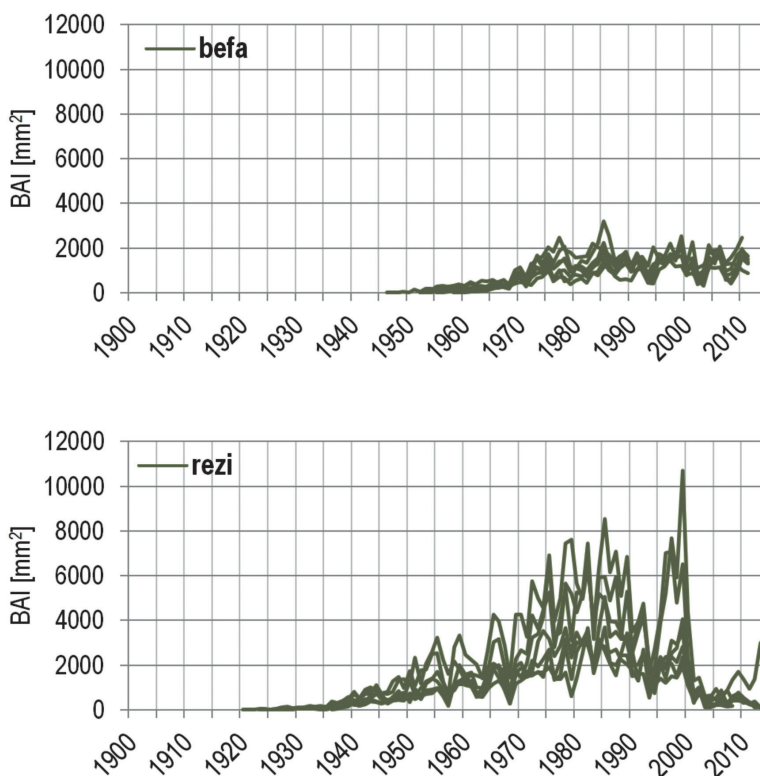
Az évgűrűket szabályos körgyűrűkként közelítve, a TSAP program segítségével, az alábbi képlet szerint származtathattuk a fák területi növedékének adatsorát:

$$BAI(i) = \pi \left(\sum_{j=1}^i TRW(j) \right)^2 - \pi \left(\sum_{j=1}^{i-1} TRW(j) \right)^2$$

ahol BAI az éves körlep-növedék, TRW pedig az egyes évekhez tartozó évgűrű-szélesség ($TRW(0)=0$). Az így kapott adatsorokat mintaterületenként és korosztályonként (maly1/2, befa, rezi) átlagoltuk. Az azonos korosztályba sorolt mintafák mellmagassági növekedése a kezdeti különbségek ellenére gyorsan szinkronizálódott, így az átlagok torzulása az első néhány év kivételével elhanyagolható. Az egyes mintafák növedékgörbéjének alakulását a 2. ábra mutatja. Az Eredmények részben közölt adatokat a könnyebb értelmezhetőség végett mozgóátlaggal simítottuk, illetve a növekedési trendek kimutatására időszakasonként illesztett lineáris regressziót alkalmaztunk.



2. ábra: Az egyes mintafák körlep-növedékének alakulása
Figure 2: Basal area increments of individual sample trees



2. ábra folytatása
Figure 2 Continue

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

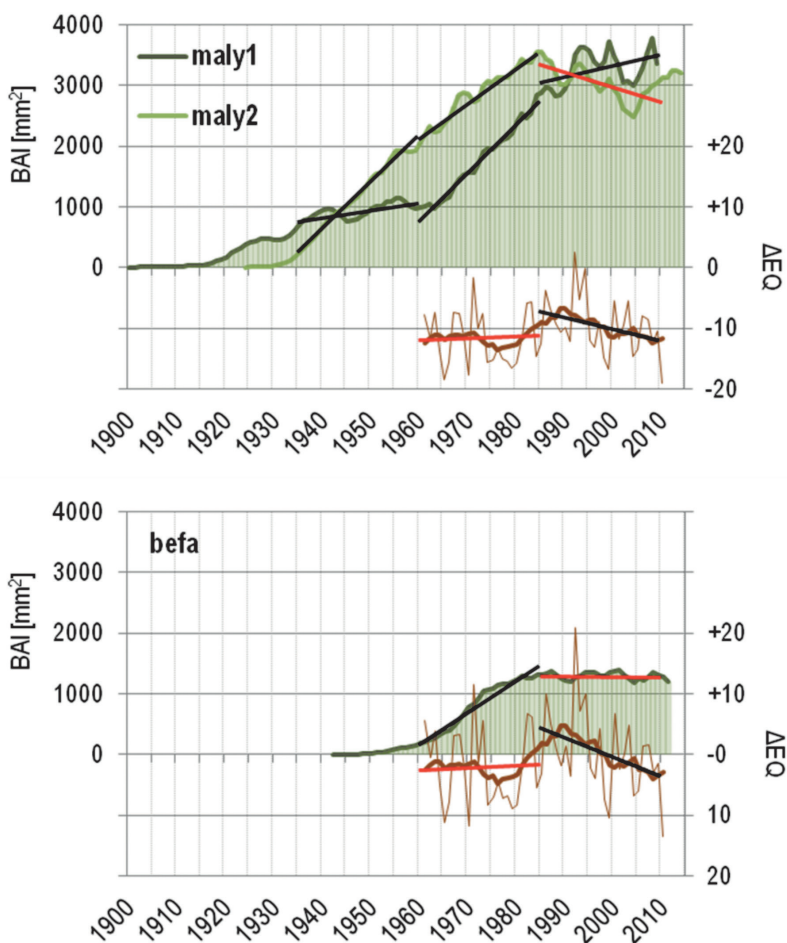
A vázolt eredmények az állományra jellemző átlagos körlap-növedékek, valamint az EQ klímaindex 30-as határértéktől vett eltéréseinek 10 éves mozgóátlag adatsorának vizuális összehasonlításából és szakaszos regresszió-vizsgálatából származnak (3. ábra). A regressziós egyenesek illesztését az éghajlati adatsorok hosszához igazodva, az éghajlati jellemzéshez hasonlóan 25 éves időszakokra végeztük el.

A környűrik területe és a fatörzs középpontjából vont sugár között fennálló matematikai összefüggés értelmében az éves körlap-növedék folyamatosan növekedhet, még a faegyed öregedésével fokozatosan csökkenő évgyűrű-szélességek mellett is. Így a területi növedékgörbe kulminációja (és esetleges csökkenése) optimális körülmények között csak a faegyed élete végéhez közeledve következik be (Gillner és mtsai 2013).

A fák korától függetlenül mindhárom mintaterület, illetve mind a négy állomány esetén a növekedés lassulása volt megfigyelhető az elmúlt 30–40 év során. Érdeemes összehasonlítani például a fiatal befa állományt a maly2 vagy rezi állományok hasonló életkorban mutatott növekedési erélyével. A relatív növekedés általában nem csak lassult, de pl. a rezi bükkfák esetén már 1980-as évektől drasztikus csökkenésbe váltott át, jóval megelőzve ezzel az új évezred elején bekövetkezett pusztulásukat és az 1990-es évek eleji aszályos éveket is. Ez alátámaszthatja Gillner és munkatársainak (2013) állítását, miszerint a faegyedek pusztulását jóval, akár évtizedekkel is megelőzi a körlap-növedékek csökkenő trendje, ami így akár prognosztikus jelentőséggel is bírhat az állományokban bekövetkezendő mortalitási eseményeket illetően. Utóbbi egyben utalhat arra is, hogy a

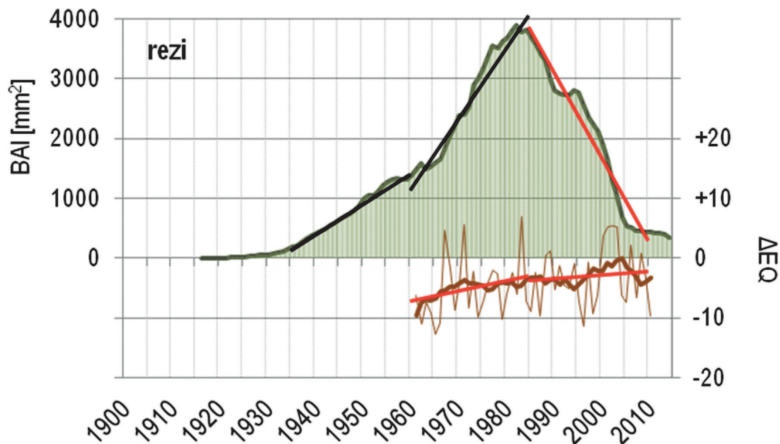
tömeges pusztulások tényleges okai jóval hosszabb távú kedvezőtlen (klimatikus) folyamatokban keresendők az állomány látszólag rohamos gyengülését eredményező rövidebb aszályperiódusoknál. Ennek ellenére az ezredfordulót követő aszályos évek, ha nem is szembetűnően, de kisebb visszaesést eredményezve mind-egyik bükkös növekedés-görbéjében nyomot hagytak, amellett, hogy az idősebb fák növekménye az utolsó évtizedekre jóval ingadozóbbá vált (ld. maly1, maly2).

A növekedés múlt század végi lassulása a vizsgált mintaállományok történetében gyakorlatilag precedens nélküli, egyedül az öregebb maly1 adatsorban figyelhető meg a növekedés lassulásának egy „sikeresen átvészelt”, korábbi, 20. század közepi szakasza, melyhez azonban a felhasznált klímaadatok időbeli korlátozottsága miatt nem tudunk éghajlati jellemzést társítani. A rezizhez hasonló mértékű csökkenés, mely a vizsgált fák pusztulásához vezetett, a másik két mintaterület esetén nem következett be.



3. ábra: Az átlagos körlep-növedékek mintaterületenként, 10 éves mozgóátlaggal simítva (zölddel), valamint az Ellenberg-hányadosnak az EQ=30 szárazsági határértéktől vett éves eltérései és szintén 10 éves mozgóátlaguk (barna vonalak). A lineáris regressziós egyenesek rendre az 1935–1960, 1961–1985 és 1986–2010-es, 25 éves periódusokra illeszkednek. A piros szakaszok a bükk növekedésére nézve kedvezőtlen trendeket – növekedéscsökkenés, illetve szárazodás – mutatják

Figure 3: Mean basal area increments for the studied stands, smoothed by 10-year moving averages (green line) and annual deviation of Ellenberg quotient from the EQ=30 indicating beech xeric limit (Ellenberg 1988), smoothed also by 10-year moving averages (brown lines). Linear trends are plotted for the 25-year periods of 1935–1960, 1961–1985 and 1986–2010. Red lines represent tendencies those are unfavorable for beech – decrease in increments and amplifying drought conditions



3. ábra folytatása
Figure 3 Continue

Az itt leírtak európai viszonylatban sem előzmény nélküliek. A növekedés ütemének azonos irányú változásait figyelték meg Jump és munkatársai (2006) dél-pireneusi szárazsági határon fekvő bükkösökben az 1970-es évek végétől kezdődően és részben hasonló eredményekről számoltak be Piovesan és munkatársai (2008) egy apennini bükkös „őserdőből”. De csak szűkebb hazánkban maradván, a bükkösök növekedés-csökkenésére figyelmeztetnek Führer és munkatársai (2016) is a Soproni-hegységből. Az itt leírtak tükrében érdekességnek számíthat, hogy a szintén déli elterjedési határhoz tartozó, bár magasabban fekvő – és így a vertikális helyzetből adódóan eltérő ökológiai adottságok között fejlődő – balkáni bükkösökben a növekedés gyorsulását figyelték meg a szárazodó klíma ellenére éppen a múlt század végére (Tegel és mtsai 2014).

Elsőre talán meglepő eredményeket kapunk, ha a növekedésgörbéket összehasonlítjuk az Ellenberg-hányados értékeinek alakulásával. A CARPATCLIM adatok alapján, 10 éves mozgóátlagban egyedül a befa állomány klímája haladta meg az EQ=30 szárazsági határértéket. Mint arra korábban utaltunk, ez részben a klímaindexek eltérő számítási módjából adódik. Az éves csapadékösszeget használó EQ nem veszi figyelembe a csapadék éven belüli eloszlásának kedvezőtlen átrendeződését, holott a vegetációs időszak megfelelő szakaszában hulló csapadék jóval fontosabb és pontosabb mutató a növekedésre nézve (pl. Garamszegi és Kern 2014; Führer és mtsai 2016). Az indexek „pontatlanságánál” azonban valószínűleg még fontosabb ok, hogy az egyes területekhez, a különböző állományokhoz más-más klimatikus határérték társítható, a „kőbe vésett”, uniform határok valójában inkább csak közelítő jellegűek (Mellert és mtsai 2016).

Megfigyelhető az is, hogy a növekedés lassulásának időszaka nem feltétlenül esik egybe a termőhely szárazodásával. A növekedési erély visszaesése, illetve a növekedéscsökkenés kezdete ugyan nagy valószínűséggel a '70-es évek végének és a '80-as éveknek a kedvezőtlen éghajlati trendjeihez köthető, mégis a jelenség kiteljesedése később, az 1986-2010-es időszak (legalábbis a bükki állományok esetében) újra kedvezőbbé váló klimatikus körülményei között ment végbe. A növekedés lassulását egyébként majd minden állomány esetében a szárazodás ellenére a növekedési erély fokozódása előzte meg az 1961–1985-ös periódusra illesztett trendvonalak alapján.

Az eredmények alátámasztják a környezeti változások erdőkre, köztük a bükkösökre gyakorolt hatását, igazolva ezzel az ezirányú kutatások fontosságát és létjogosultságát. Az eredmények általánosításához ugyanakkor további, magasabb mintaszám melletti és bővebb térbeli kiterjesztésű kutatómunkára lehet szükség, amely egyben támpontot nyújthat a magyarországi bükkösök klímaváltozás hatásainak szempontjából történő komparatív feltérképezésére is (vö. Horváth és Mátyás 2014; Mátyás 2016).

ÖSSZEFOGLALÁS

Az évgyűrűk szélessége jól mérhető és könnyen elemezhető indikátorai a fákat érő környezeti hatásoknak, ráadásul a belőlük származtatott körlapnövedékek használata jól közelíti az állományok fatömeg-gyapodását és egészségi állapotát, lehetővé téve a gyakorlatban könnyebben alkalmazható következtetések levonását. Mindhárom vizsgált hazai bükkös állomány esetén, kortól és élőhelytől függetlenül a területi növekedés lassulása, ill. az éves növedék csökkenése volt megfigyelhető az elmúlt 3–4 évtized során. A legelőreleőbb szárazodást mutató rezi állomány bükkfaiban a növedékgörbe drasztikus csökkenése korai előjelét adta az állomány rohamos gyengülésének és a fák későbbi, 2000-es évek elején bekövetkezett pusztulásának.

A növedékeknek a fentebb vázolt trendjeinek éghajlati eseményekhez való társítása ugyanakkor különböző nehézségeket vont maga után. Bár az eredmények alapján nagy bizonyossággal állítható, hogy a növedék visszaesése az éghajlat kedvezőtlen megváltozásának, szárazodásának köszönhető, a különböző állományok különböző mértékű (nemlineáris) válasza és az állományklíma leírására használt klímaindexek eltérő érzékenysége miatt egyértelmű éghajlati „küszöbértékek” nem húzhatók meg.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bükk mintákat az Északerdő Zrt. mályinkai, az Egererdő Zrt. egri, a Bakonyerdő Zrt. keszthelyi erdészeinek és Dr. Palcsu Lászlónak (MTA ATOMKI) köszönhetjük. Köszönjük Dr. Führer Ernő (NAIK ERTI) értékes szakmai tanácsait, javaslatait. A kutatást az MTA „Lendület” program (LP 2012 27/2012) támogatta. Ez a közlemény a 2ka Palæoclimatology Kutatócsoport 37. számú publikációja és a Budapest Tree-Ring Laboratory 28. számú publikációja.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Ellenberg, H. 1988: Vegetation ecology of Central Europe. Cambridge University Press
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. Klíma 21-füzetek, 61: 98-107.
- Führer, E.; Horváth, L.; Jagodics, A.; Machon, A. and Szabados, I. 2011: Application of new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás*, 115: 205-216.
- Führer, E.; Edelényi, M.; Horváth, L.; Jagodics, A.; Jereb, L.; Kern, Z.; Moring, A.; Szabados, I. and Pödör, Z. 2016: Effect of weather conditions on annual and intra-annual basal area increments of a beech stand in Sopron Mountains in Hungary. *Időjárás*, 120 (2): 127-161.
- Garamszegi, B. and Kern, Z. 2014: Climate influence on radial growth of *Fagus sylvatica* growing near the edge of its distribution in Bükk Mts., Hungary. *Dendrobiology*, 72: 93-102. DOI: [10.12657/denbio.072.008](https://doi.org/10.12657/denbio.072.008)
- Gillner, S.; Rüger, N.; Roloff, A. and Berger, U. 2013: Low relative growth rates predict future mortality of common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Ecology and Management*, 302: 372-378. DOI: [10.1016/j.foreco.2013.03.032](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.032)
- Grynaeus A.; Horváth E. and Szabados I. 1994: Az évgyűrű mint természetes információhordozó. *Erdészeti Lapok* 129: 203-205.
- Horváth A. és Mátyás Cs. 2014: Növedékcsökkenés előrevetítése egy bükk származási kísérlet alapján. *Erdészettudományi Közlemények*, 4: 91-99.
- Jump, A.S.; Hunt, J.M. and Peñuelas, J. 2006: Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology*, 12: 2163-2174. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2006.01250.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01250.x)
- Kázmér, M. and Grynaeus, A. 2003: The Budapest Tree-Ring Laboratory. Association for Tree-Ring Research, Newsletter 1: 5-6.
- Mátyás Cs. 2016: Az erdészeti szaporítóanyag megválasztása a klímaváltozás fényében. *Erdészeti Lapok*, 151: 78-82.



- Mellert, K.H.; Ewald, J.; Hornstein, D.; Dorado-Liñán, I.; Jantsch, M.; Taeger, S.; Menzel, A. and Kölling, C. 2016: Climatic marginality: a new metric for the susceptibility of tree species to warming exemplified by *Fagus sylvatica* (L.) and Ellenberg's quotient. *European Journal of Forest Research*, 135: 137-152. DOI: [10.1007/s10342-015-0924-9](https://doi.org/10.1007/s10342-015-0924-9)
- Piovesan, G.; Biondi, F.; Di Filippo, A.; Alessandrini, A. and Magueri M. 2008: Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica* L.) forests of the central Apennines, Italy. *Global Change Biology*, 14: 1265-1281. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2008.01570.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01570.x)
- Szalai, S.; Auer, I.; Hiebl, J.; Milkovich, J.; Radim, T.; Stepanek, P.; Zahradnicek, P.; Bihari, Z.; Lakatos, M.; Szentimrey, T.; Limanowka, D.; Kilar, P.; Cheval, S.; Deak, Gy.; Mihic, D.; Antolovic, I.; Nejedlik, P.; Stastny, P.; Mikulova, K.; Nabyvanets, I.; Skyryk, O. and Krakovskaya, S. 2013: Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report, www.carpatclim-eu.org
- Tegel, W.; Seim, A.; Hakelberg, D.; Hoffmann, S.; Panev, M.; Westphal, T. and Büntgen, U. 2014: A recent growth increase of European beech (*Fagus sylvatica* L.) at its Mediterranean distribution limit contradicts drought stress. *European Journal of Forest Research*, 133: 61-71. DOI: [10.1007/s10342-013-0737-7](https://doi.org/10.1007/s10342-013-0737-7)

Érkezett: 2016. április 15.

Közlésre elfogadva: 2016. szeptember 27.