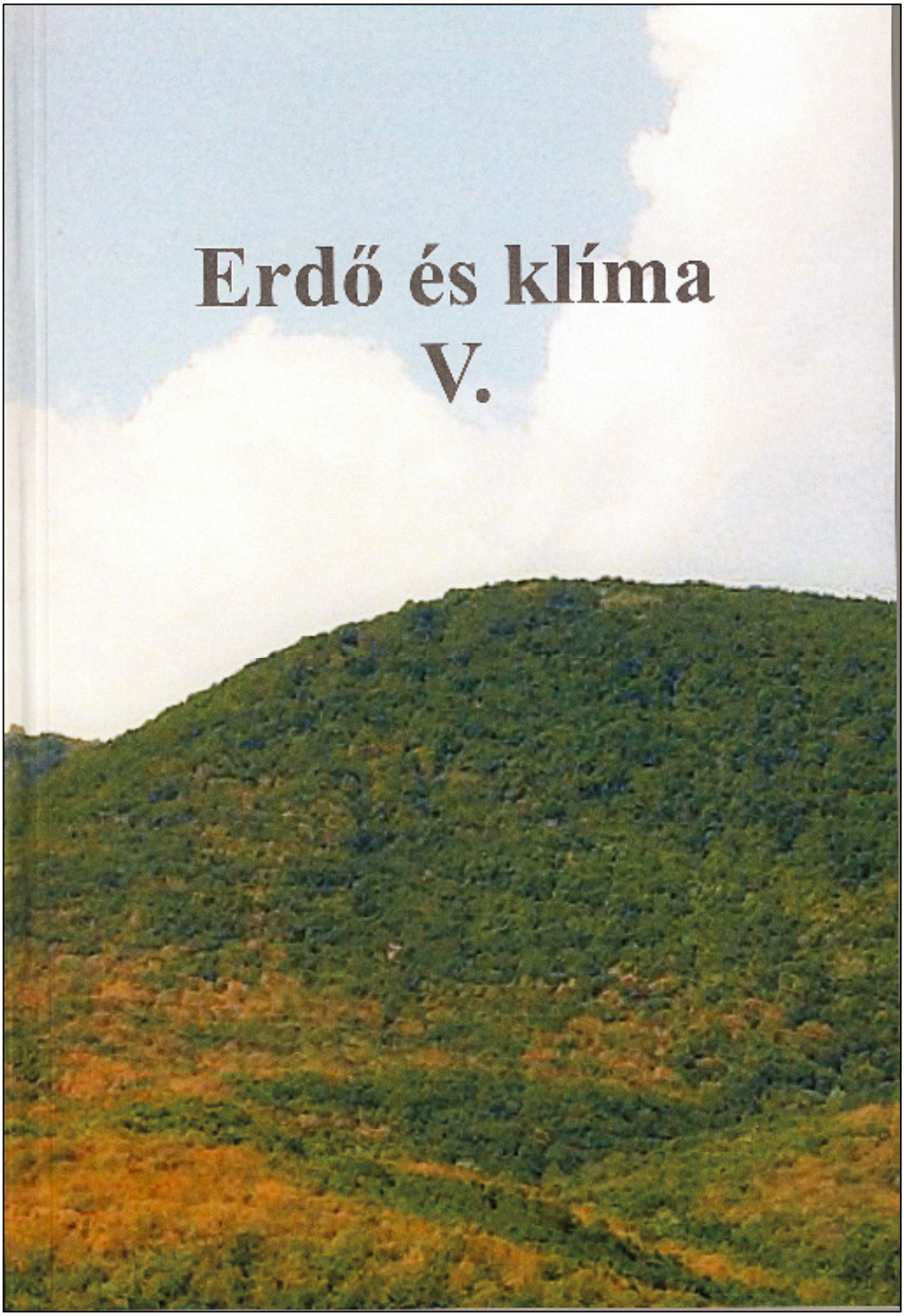
Megjelent mint:
Somogyi, Z. 2007. A klíma, a klímaváltozás és a fanövekedés néhány összefüggéséről. In: Mátyás, Cs., Vig, P. (szerk.) Erdő-klíma V., NYME, Sopron, 281-294.



A klíma, a klímaváltozás és a fanövekedés néhány összefüggéséről

Somogyi Zoltán
ERTI, Budapest

Összefoglaló

A tanulmány két, egymással összefüggő kérdést elemez. Az egyik az, hogy vajon felgyorsult-e a fák magassági növekedése az elmúlt évtizedekben, a másik pedig az, hogy e gyorsulást okozhatta-e a hőmérséklet növekedése? A fanövekedés-gyorulást egyrészt az Országos Erdőállomány Adattár 1981-es, illetve 2001-es erdőrészlet-adataiból bükkre, kocsánytalan tölgyre és cserre levezetett kor-magasság görbék összehasonlításával vizsgáltuk, másrészt pedig hosszúlejáratú fatermési kísérleti területek adatainak trendelemzésével kocsánytalan tölgyre. Mindegyik esetben a növekedés szignifikáns gyorsulása volt kimutatható; leginkább a cser növekedése gyorsult fel. E gyorsulás okainak vizsgálatához összefüggést kerestünk az Országos Erdőállomány Adattár található sokezer erdőrészlet tengerszint feletti magassága és átlagmagassága között. Kimutattuk, hogy az átlagmagasság – minden egyéb tényezőt állandónak tekintve – nőtt a tengerszint feletti magasság csökkenésével, ami megfelel az átlaghőmérséklet növekedésének. Mivel a csapadék éves mennyisége csökken a tengerszint feletti magasság csökkenésével, ezért azt a következtetést vontuk le, hogy az elmúlt évtizedek magasabb hőmérséklete valóban intenzívebb növekedéssel párosult. A jövőben a hőmérséklet-növekedés hatását azonban várhatóan korlátozni fogja a rendelkezésre álló víz abszolút vagy relatív csökkenése.

Kulcsszavak: klímaváltozás, növekedésgyorsulás, bükk, kocsánytalan tölgy, cser

Abstract

Somogyi, Z. 2007. On some relationships between climate, climate change and tree growth.

The paper addresses two related issues. One is whether, and how, growth patterns of stand mean height have changed in Hungary in the last few decades, the other is whether this change could be attributed to increases in mean annual temperature. Changes in tree growth were investigated for beech (Fagus silvatica), sessile oak (Quercus petraea) and Turkey oak (Quercus cerris) by comparing stand mean height over age using data from the forest inventories of 1981 and 2001, and for sessile oak using stand mean height data from permanent plots since 1961. Tree growth was found to have accelerated for each species, with Turkey oak showing the largest acceleration. To study the issue of attribution, stand mean height was related to elevation, wich in turn was related to mean annual temperature and precipitation. For this analyses, too, data of many thousand of stands in the forest inventory was used. Stand mean height was found to increase with decreasing elevation, i.e. with increasing mean annual temperature for each of the three species. As the annual precipitation and air humidity decreases with decreasing elevation, it was concluded that increases of mean annual temperature could positively affect tree growth in the last few decades. However, this effect is expected to be soon limited by water availability.

Keywords: climate change, tree growth, beech, sessile oak, Turkey oak

1. Bevezetés

Nem sokkal azután, hogy felmerült a klímaváltozás gyanúja, egyre inkább ismertté kezdtek válni a klímaváltozás következményei is. A klíma, valamint az erdők működése, s ezen belül a fanövekedés közötti alapvető összefüggések már régóta ismertek. (Ezen belül pl. ismert, hogy különböző klímájú származási helyekről származó, azonos fajú egyedek egymás mellett nőve különböző sebességgel növekednek, pl. Mátyás, 1994). Ezért várható volt, hogy a klímaváltozásra az erdők is érzékenyen reagálnak. Ennek módja (a folyamatosan változó időjáráshoz való igazodás módja és mértéke) azonban egyáltalán nem magától értetődő. Mivel a fanövekedésnek pénzügyi, gazdasági, társadalmi, környezetvédelmi és sok más vonzata van, és a fanövekedés bizonyos határok között jól mérhető (sokkal jobban, mint pl. az ökoszisztémákon belüli táplálékláncok kapcsolatrendszerei), a klímaváltozás hatásai közül az elsők között a fanövekedéssel kezdtek foglalkozni (pl. Máyás, 1994, Somogyi, 1998.a-c, Somogyi, 2001, Makkonen-Spiecker-Somogyi, 2000).

Ennek oka az is volt, hogy a klímaváltozás ismertté válásával egy időben jelentek nagy visszhangot kiváltó, a fanövekedés nemzetközi trendjeit elemző tanulmányok is. Kuusela (1994) az európai országok erdészeti statisztikáinak alkalmazásával kimutatta, hogy az európai erdők fakészlete és növedéke jelentősen nőtt az azelőtti 40 év alatt, mégpedig úgy, hogy közben a fakitermelési ütem is nőtt. Ezt követően jelent meg egy - azóta híressé vált - tanulmánykötet (Spiecker et al., 1996), amely már kifejezetten azt vizsgálta, hogy felgyorsulhatott-e a fák növekedése, s ha igen, miért. A kötetben szintén erdőleltárakra alapozott vizsgálatok eredményei mellett elsősorban erdészeti kísérletekben, nagyobb pontossági igénnyel végzett tudományos módszerekkel végzett elemzések találhatók. Az eredmények szintézise szintén azt látszott igazolni, hogy - legalábbis kontinensünk legnagyobb részén - kisebb-nagyobb mértékű fanövekedés-gyorsulás jelei tapasztalhatók.

Hazánkban a fanövekedés változása a 80-as években még nem merült fel (Király, 1986), a 90-es évektől kezdődően viszont érdemi kutatások kezdődtek (Somogyi, 1998a-c, Makkonen-Spiecker-Somogyi, 2000, Tóth, 1998, Szabados, 2007). Az előzetes szakértői vélemények alapján mindenképpen érdemesnek tűnt vizsgálatokat indítani, melyek fő kérdése az volt, hogy vannak-e a *hazai* erdők növekedésének változására, esetleg gyorsulására utaló jelek.

A vizsgálatok eredményei közül ebben a cikkben két fő kérdést tárgyalunk:

I. Kimutatható-e a közelmúltban a fanövekedés sebességének változása hazánkban?
II. Eredményezhetett-e fanövekedés-változást a klíma eddigi változása?

E kérdések közvetlen kutatásra nem alkalmasak, s ezért – a kutatásokhoz rendelkezésre álló adatokhoz igazítva – két-két kérdésekre bontottuk, melyek eltérő módszertant igényeltek, s amelyek az alábbiak:

I(a) Hogyan alakult a fanövekedés trendje három fontosabb fafajra 1981-2001 között, az Országos Erdőállomány Adattár adatai alapján?
I(b) Hogyan alakult a fanövekedés trendje hosszú időtartamú kísérleti területeken?
II(a) Kimutatható-e összefüggés a fanövekedés mértéke és az átlagos hőmérséklettel kapcsolatba hozható termőhelyi tényezők között?
II(b) Ha kimutatható ilyen összefüggés, akkor az alapján okozhatott-e fanövekedés változást a klíma 1981-2001 közötti változása?

2. Alkalmazott módszerek és vizsgálati anyag

A fenti kérdések vizsgála az egyes fő kérdések szerint elkülönülő adatokat, módszereket és feltételezéseket igényelt, ezért azokat, valamint a kapott eredményeket a fő kérdések köré csoportosítva tárgyaljuk.

I. A fanövekedés eddigi trendjeinek vizsgálata

A lehetséges fanövekedési jellemzők közül minden vizsgálatban a famagasságnak, mint a termőhelyi tényezőkkel viszonylag jó kapcsolatban álló méretnek a kor szerinti alakulását, vagyis a magassági növekedésmenetet elemeztük. Különböző naptári évekből vagy időszakokból származó, de egyébként azonos fafajra vonatkozó növekedésmeneteket hasonlítottunk össze. Az összehasonlítások során azt vizsgáltuk meg, hogy a különböző években vagy időszakokban kimutatható növekedésmenetek – a mintavételi hibákat is figyelembe véve – ugyanolyanok voltak-e. Feltételeztük, hogy ugyanolyan termőhelyi feltételek ugyanolyan növekedést eredményeznek; különböző növekedésmenetek tehát eltérő termőhelyi viszonyokat jeleznek.

Megközelítésünk másik lényeges eleme az volt, hogy vizsgálatainkat minden esetben a lehetséges legnagyobb adatmintán végeztük el. Ezzel próbáltuk kiküszöbölni az olyan helyi termőhelyi, erdőkezelési stb. különbségekből eredő hatásokat, amelyek nagyobbak a termőhelyi tényezők megváltozása miatt általánosan érvényesülő hatásoknál, s melyek így ez utóbbiak felismerését gátolják.

Az I(a) kérdés vizsgálatát az Országos Erdőállomány Adattárárból (a továbbiakban: Adattár) a kocsánytalan tölgyesek (a továbbiakban: KTT), a bükkösök (a továbbiakban: B) és a cseresek (a továbbiakban: CS) erdőrészletekre vonatkozó adataival végeztük. Csak többlet vízhatástól független, elegyetlen vagy majdnem elegyetlen erdőrészleteket vettünk csak számításba. Ezekre az erdőrészletekre külön 1981-re és külön 2001-re az alábbi adatokat válogattuk ki: kor, záródás, elegyarány, állományrész, fatérfogat meghatározás módja, átlagos magasság, átlagos átmérő, fafajonkénti fakészlet, továbbá a termőhely típus változatra vonatkozó adatok (l. később). A magasság-adatokból külön 1981-re és külön 2001-re különböző kor- és egyéb kategóriákban növekedésmeneteket vezettünk le, és ezeket hasonlítottuk össze regressziós és korrelációs technikák alkalmazásával.

Az I(b) kérdés vizsgálatához az ERTI kocsánytalan tölgyes hosszúlejáratú kísérleti területek minden korábban felvett adatából kiválogattuk a vizsgálatra alkalmasakat, majd ezeket feldolgoztuk a standard fatermési módszerek szerint. Elvégeztük emellett több kocsánytalan tölgy kísérleti terület aktuális fatermési újrafelvételét és e felvételi adatok feldolgozását is, hogy minél több adat álljon rendelkezésre az elemzésekhez. Az újrafelvételeknél is - mint minden más korábbi felvétel esetében is - két-két felvétel között jellemzően 5-10 év telt el.

II. A fanövekedés és a termőhelyi viszonyok (ill. azok változásai) közötti összefüggések vizsgálata

A klímaváltozás hatásainak elemzésekor célszerűen elsősorban a hőmérséklet és a csapadékmennyiség változásának a hatását kell vizsgálni. Ehhez azonban közvetlenül egyik adattal sem rendelkeztünk. Ezeket ugyanis nem mérik és használják az erdészeti

adatbázisokban, és megfelelő földrajzi sűrűségben más adatbázisokban sem voltak hozzáférhetők. Nagy területen, sok erdőrészlet átlagában viszont összefüggés van egyrészt az átlaghőmérséklet, ill. az éves csapadékmennyiség, másrészt a tengerszint feletti magasság (a továbbiakban: TSZFM), ill. az erdészetben alkalmazott ún. klímatipus (Járó, 1973) között. Ezért a hőmérséklet hatásainak elemzéséhez a TSZFM, ill. a klímatipus, valamint az átlagmagasság között kerestünk általánosítható, ill. számszerűsíthető összefüggéseket egy- ill. többváltozós regressziós elemzéssel. Ezzel a megközelítéssel elemezhető a II(b) kérdés.

A regressziós elemzéseket termőhelyi kategóriánként külön-külön végeztük el. A kategóriákat az Adattárból leválogatott standard erdészeti termőhelyi információk - a kitettség, a talajtípus, a termőréteg vastagság, valamint a fizikai talajféleség - szerint különítettük el. (A hidrológiai viszonyokat azért nem, mert csak a többlet vízhatástól független erdőrészleteket vizsgáltuk.) Csak e tényezők leggyakoribb formáit (pl. főbb barna erdőtalajok) vettük számításba; így összesen 84 termőhelyi kategóriát alakítottunk ki.

Végül a II(b) kérdés elemzésekor a II(a) kérdésre kapott összefüggésekkel azt néztük meg, hogy az 1981-2001 közötti hőmérséklet-változás mekkora fanövekedés-változásnak felel meg. Ezen túlmenően a jövőre vonatkozó becsléseket is vizsgáltunk az említett összefüggések alkalmazásával, különböző hőmérséklet-változási forgatókönyvekre.

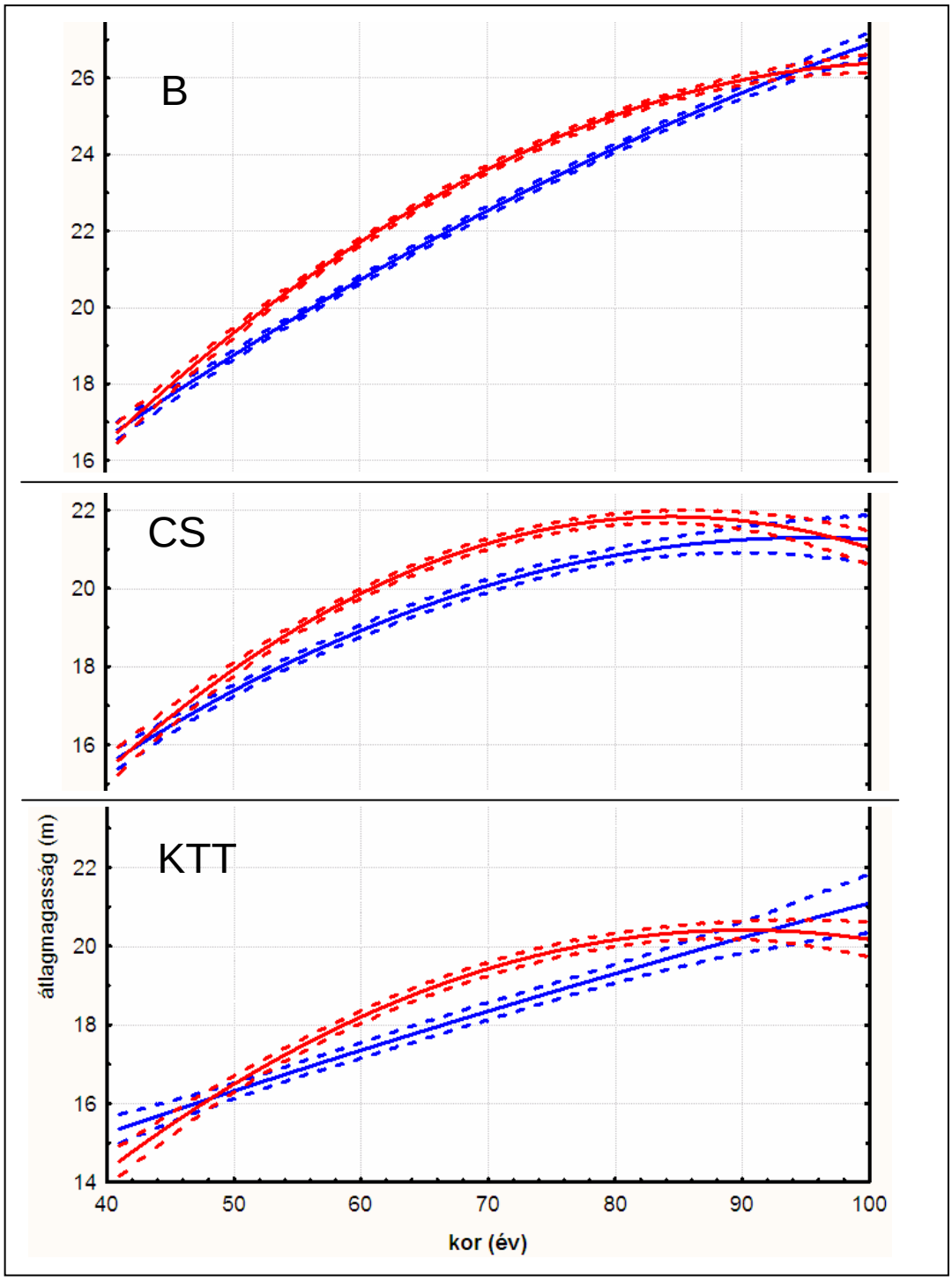
3. Vizsgálati eredmények

I. A fanövekedés eddigi trendjeinek vizsgálata

I(a) A fafaj-szintű elemzés során a KTT-re, a B-re és a CS-re fafajonként több ezer erdőrészlet átlagos famagasságával dolgozhattunk. Az ezekre illesztett, az 1981-re, ill. 2001-re vonatkozó kor-famagasság görbék között viszonylag jelentős és szignifikáns különbség volt kimutatható (**1. ábra**[1]).

A rendelkezésre álló adatokat fafajonként külön korcsoportokban és eredet szerint is (**1. táblázat**), valamint a főbb termőhelyi kategóriákra megbontva is elemeztük. Egy-egy ilyen kategóriába természetesen jóval kevesebb erdőrészlet adata került mind 1981-ben, mind 2001-ben. Az azonos korcsoporthoz tartozó kategóriákban kapott magasságok között kevésbé szignifikáns különbségek voltak, és előfordultak nem szignifikáns esetek is, sőt olyan esetek is, amikor a 2001-es átlagmagasság alacsonyabbnak mutatkozott, mint az 1981-es, azonban összességében az volt megállapítható, hogy a 2001-es magasságok azonos kategóriákban általában magasabbak voltak, mint 1981-ben.

[1] Megjegyezzük, hogy a bemutatott ábrák elsősorban demonstrációs célt szolgálnak; az elemzéseket ezeknél jóval részletesebb statisztikákra alapoztuk.

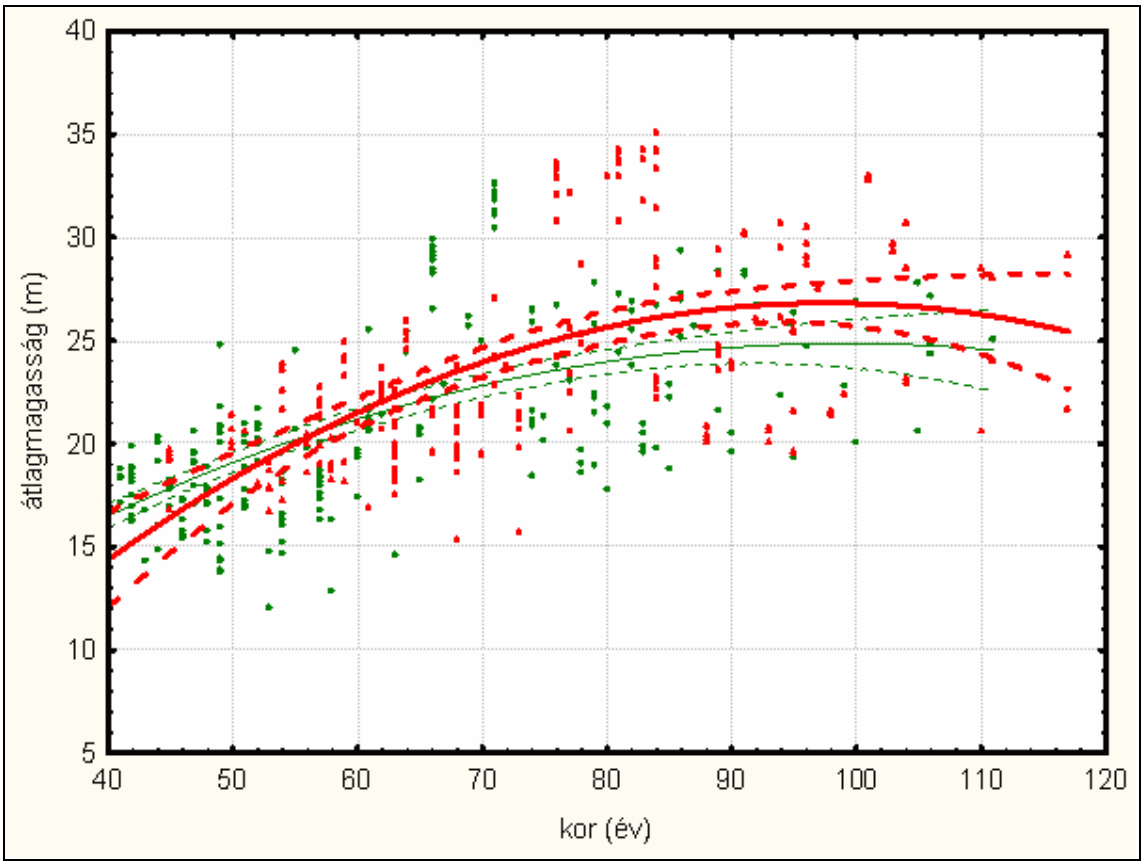


1. ábra. Kor-famagasság görbék az Adattár adatai alapján a kocsánytalan tölgy (KTT), cser (CS) és bükk (B) fafajra 1981-re (kék színnel) és 2001-re (piros színnel; folytonos vonalak), a 95%-os valószínűségi szinthez tartozó adódó konfidencia-sávokkal együtt (szaggatott vonalak).

1. táblázat. A 2001-es és 1981-es korosztályonkénti átlagos magasság különbsége a kocsánytalan tölgy (KTT), cser (CS) és bükk (B) fafaj erdőrészletek adataiból számolva eredet (mag, ill. sarj) és elegyarány-kategóriákban. Ez utóbbiaknál a „fő" olyan erdőrészletekre vonatkozik, ahol az adott fafaj főfafaj, vagyis legalább 50% az elegyaránya, az „elegy" pedig olyan erdőrészletekre, ahol az adott fafaj elegyaránya 50%-nál kisebb. A piros cellákban lévő számok szignifikánsan nagyobb átlagmagasságot, a narancs színűekben lévők nem szignifikánsan nagyobb átlagmagasságot, a zöld cellákban lévők pedig nem szignifikánsan alacsonyabb átlagmagasságot mutatnak. (Szignifikánsan alacsonyabb átlagmagasság értékek nem fordultak elő. A fehér cellákban nem volt elegendő darabszám az elemzéshez.)

Fafaj/ eredet	elegyedés módja	Korsztályok (év)							
		41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120
KTT									
mag	fő			2,57	0,50		-0,42	0,83	0,23
	elegy	0,37	-0,24	-0,78	-0,36	0,26	0,23	0,06	0,04
sarj	fő		3,38	0,98	2,66	2,27	1,59	1,35	1,33
	elegy		2,04	0,02	1,98	1,27	1,68	0,23	3,30
B									
mag	fő			1,23	0,25	4,71	1,28	0,65	0,00
	elegy		0,10	3,03	1,21	2,30	0,09	1,19	2,35
sarj	fő					5,70	3,80	1,11	2,75
	elegy			0,25	2,46	2,35	2,45	0,59	5,27
CS									
mag	fő			-0,99	0,10	1,04	0,59	1,49	3,38
	elegy		0,16	0,52	0,09	1,24	0,53	1,03	1,32
sarj	fő		1,64	0,40	1,12	2,09	3,49	3,03	6,21
	elegy		2,53	-0,28	2,45	1,83	2,43	1,76	2,17

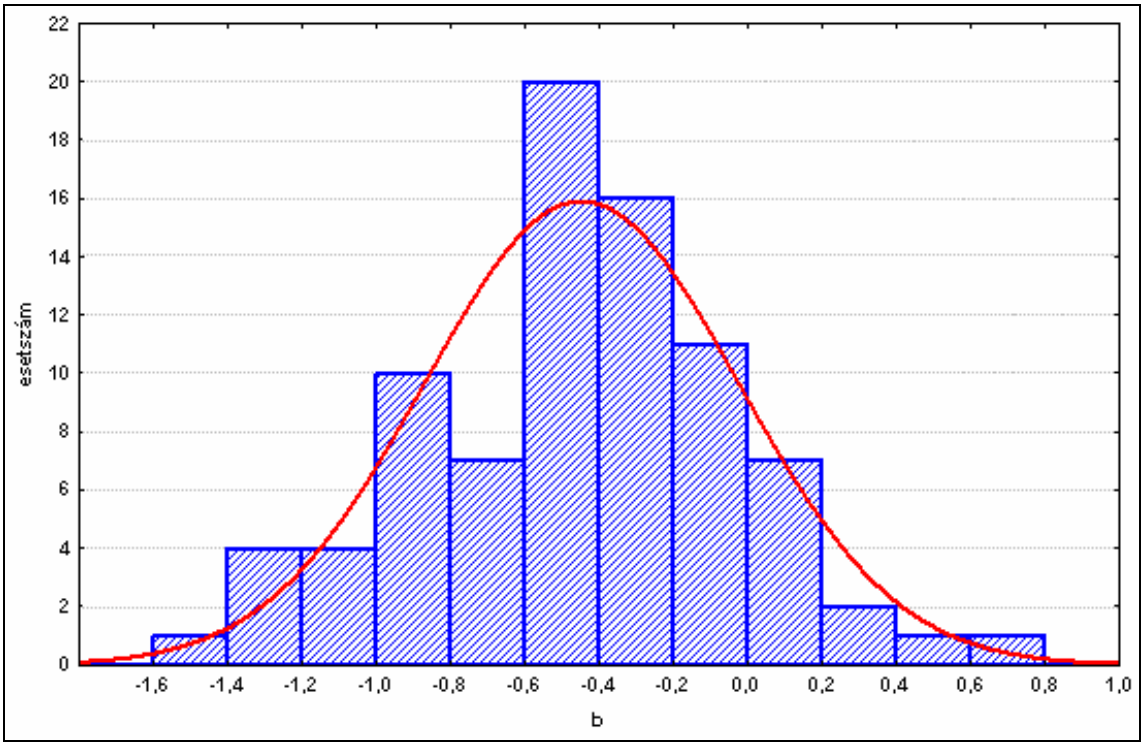
I(b) A KTT kísérleti területekről származó adatoknál külön csoportokat képeztünk az 1990 előtt, ill. azután végzett mérésekből. A közvetlenül 1990. előtt, ill. azután végzett mérések közti időszak átlagos növekedését egy-egy regressziós görbével jelöltük (2**. ábra**), melyek mellett a görbék (95%-os valószínűségi szinten vett) konfidencia intervallumát is feltüntettük. Az 1990 utáni mérésekből adódó görbe jellemzően magasabban halad az 1990. előtti adatokból levezethető görbénél. Szignifikáns növekedés-gyorsulás a 75-95 éves kortartományban kimutatható, de az adatok a többi kortartományban is inkább gyorsulásra, mint lassulásra utalnak.



2. ábra. A KTT kísérleti területek famagasság-adatainak (H_g) alakulása a kor függvényében 1990 előtt (piros, vastag folyamatos vonal) és utána (zöld, vékony folyamatos vonal), a 95%-os valószínűségi szinthez tartozó adódó konfidencia-sávokkal együtt (szaggatott vonalak).

II. A fanövekedés és a termőhelyi tényezők közötti összefüggések

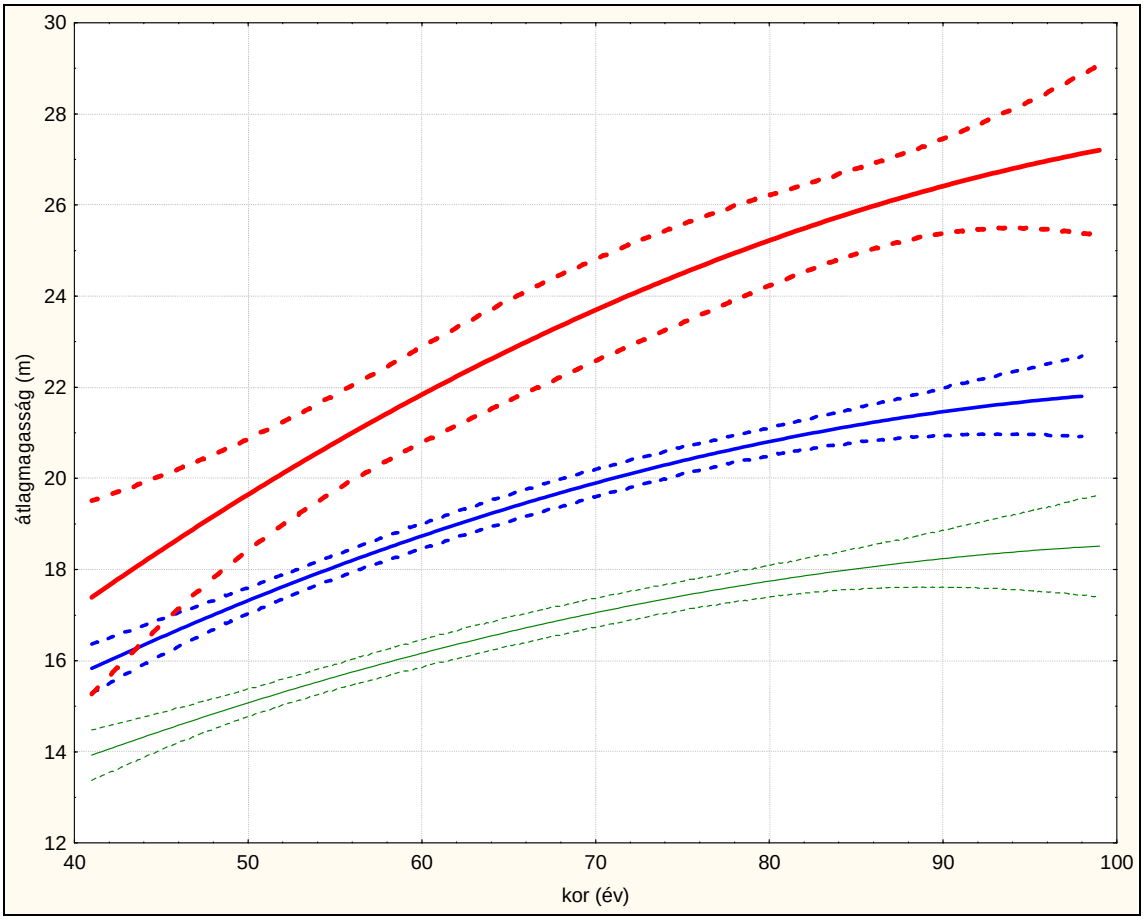
II(a) A TSZFM és famagasság között lineáris modellekkel kerestünk kapcsolatot. Az alapfeltételezés az volt, hogy ha minden egyéb tényező (fafaj, ill. a termőhelyi tényezők: klímatipus, talajtípus, kitettség stb.) változatlan, akkor a famagasságot a TSZFM határozza meg. A legkülönbözőbb fafaj-, ill. termőhelyi kategóriákban (pl. KTT, bükkös klímatípus, agyagbemosódásos barna erdőtalaj, déli kitettség) meghatároztuk a TSZFM és a famagasság közötti összefüggést reprezentáló egyenes dőlésszögét. A kapott dőlésszögek között pozitív és negatív értékek is előfordulnak: a dőlésszögek -1,6 és 0,8 között szórnak, eloszlásuk pedig a normális eloszlást közelíti (3**. ábra**). Úgy tűnik, hogy - ha nagy szórással is - a 300-600 m-es tengerszint feletti magasságban egyértelmű hatása lehet a tengerszint feletti magasságnak: a dőlésszögek nagy átlaga (az dölészög-értékek eloszlásának középértéke) negatív szám (-0,45), vagyis a TSZFM csökkenésével a famagasság növekszik. A három fafajra külön elvégzett elemzés hasonló képet mutat: az eloszlások középértékeihez rendelt, 95%-os szinten definiált konfidencia-intervallum teljes terjedelme minden esetben a negatív számok tartományába esik. Az eloszlások középértékére a bükknél -0,499, csernél -0,57, kocsánytalan tölgynél pedig -0,29 adódott.



3. ábra. A famagasság = a + b * TSZFM lineáris modell regressziós koefficienseinek eloszlása különböző termőhelyi kategóriákban minden fafajra (N = 84; az illesztett normális eloszlás középértéke = -0.454, a 95%-os valószínűség mellett számolt konfidencia-intervalluma -0,545 és -0,362 között van).

Összefüggést kerestünk a klímatípus és a famagasság között is. A klímatipusok mellett természetesen itt is fafajonként, valamint főbb talajtípusonként végeztük el a növekedésmenetek közötti összehasonlításokat. Az összefüggések szemléltetése kedvéért bemutatott 4**. ábrán** jól látszik, hogy a három vizsgált klímatípusban (bükkös, gyertyános-tölgyes, és cseres-tölgyes) azonosítható magassági növekedésmenetek között jelentős különbségek vannak, és az eltérések szignifikánsak. Az eltérések általában nagyobbak, mint a TSZFM kategóriákban hasonlóképpen felrajzolt magassági növekedésmenetek között, de itt is jellemzően nagy az adatok szórása, és sok esetben ezért nem elegendő az adatok száma ahhoz, hogy egyértelmű következtetéseket tudjunk levonni. Összességében azonban megállapítható, hogy a fák – minden egyéb feltétel állandósága esetén - a bükkös klímatípusban nőnek legmagasabbra, a gyertyános-tölgyes klímatípusban kevésbé, a cseres-tölgyes klímatípusban pedig még kevésbé magasra nőnek.

Ellentmondásnak tűnhet, hogy a famagasság a TSZFM növekedésével csökken, az általában egyre magasabban fekvő klímatipusok irányába (tehát a bükkös típus felé) haladva viszont nő. Feltehető azonban, hogy a klímatipusok esetében a tengerszint feletti magasság csökkenésével a hőmérséklet kisebb mértékben csökken, mint ahogyan a növekedésre kedvező hatású csapadék mennyisége nő. Mátyás-Czimber (2000) szerint a bükkösök és a gyertyános-tölgyesek júliusi középhőmérséklete között 0,9, a gyertyános-tölgyesek és a cseres-tölgyesek között 0,2 fok van; az éves csapadék mennyiségét tekintve a különbségek rendre 32, ill. 86 mm. E különbségek növekedésre gyakorolt hatását azonban további vizsgálatokkal kell elemezni.



4. ábra. A kor szerinti famagassági görbék (folytonos vonalak) különböző klímatipusokra a KTT fafaj által elfoglalt olyan erdőrészletek esetében, amelyek agyagbemosódásos barna erdőtalajon vagy barnaföldön, déli kitettségben találhatók. A görbék mellett húzódó sávok (szaggatott vonalak) a 95%-os valószínűség mellett adódó konfidencia-intervallumot mutatják. A felső (piros) görbesor a bükkös, a középső (kék) görbesor a gyertyános-tölgyes, az alsó (zöld) görbesor pedig a cseres-tölgyes klímatipusban található erdőrészletek adataira illesztett görbék.

II(b) A vizsgálatok korlátait hangsúlyozva elemeztük azt, hogy ha elfogadnánk a II(a) vizsgálatban kapott eredményeket, akkor azok alapján milyen fanövekedésnek kellett történnie 1981 és 2001 között az akkor megfigyelt nagyjából 1 ºC hőmérséklet-emelkedés hatására. Ugyancsak kiszámoltuk, hogy 0,5 és 2 ºC hőmérséklet-emelkedés – egyébként változatlan feltételek mellett – milyen növekedésváltozást idézhet elő a jövőben. (Megjegyezzük, hogy ezek a különbségek akkorák, vagy nagyobbak, mint az egyes klímatípusok között Mátyás-Czimber (2000) által kimutatott hőmérsékleti különbségek.)

A kérdés vizsgálatához szükséges definiálni az ún. növekedési potenciált. Ezen azt értjük, hogy

- ha a léghőmérséklet a viszonyítási időszakhoz képest X hőmérséklettel emelkedne,
- a hőmérséklet az emelkedés után stabilizálódna,

- és minden egyéb, a fanövekedést meghatározó tényező – tehát pl. a csapadék mennyisége is – változatlan maradna[2],
- akkor hosszútávon átlagosan mennyivel magasabbra nőnének a fák.

Ismert emellett, hogy a hőmérséklet átlagértéke a tengerszint feletti magasság 100 m-es változásának hatására nagy átlagban (0,5-)0,6 fokkal változik, s a változást közelítőleg lineárisnak lehet venni. Ha az egyszerűség kedvéért lineárisnak leírt TSZFM-fanövekedés modellt alkalmazzuk, akkor az úgy fogalmazható meg, hogy 100 m-es tengerszint feletti magasság-csökkenés hatására átlagosan mintegy 0.45 m-rel magasabbra nőnek a fák. Mindez más szóval azt jelenti, hogy a famagasság minden 0.1 fok átlaghőmérséklet-növekedés esetében 0.07m-rel lesz nagyobb. (Természetesen minden korra és termőhelyre nagy átlagként kezelendő számról van szó.) Fafajonként: B: 0.1 m/0.1 fok, KTT: 0,05 m/0.1 fok, CS: 0.1 m/0.1 fok értékek adódnak.

Valamennyi fenti modellt és adatot egyszerre figyelembe véve fafajonként, az említett hőmérséklet-növekedési forgatókönyvekre a **2. táblázat** szerinti növekedési potenciálokat valószínűsíthetjük.

2. táblázat. A kort figyelembe nem vevő, különböző forgatókönyvek (0.5, 1 és 2 Kelvin fokos hőmérséklet-emelkedés) szerint a fenti módon értelmezett növekedési potenciálok a három legfontosabb, a projekt során elemzett fafajra.

Fafaj	Famagasság növekedés átlagos mértéke (m), ha a hőmérséklet-emelkedés mértéke (K)		
	0.5	1	2
Bükk	0.5	1	2
Kocsánytalan tölgy	0.25	0.5	1
Cser	0.5	1	2

4. Értékelés

A fanövekedési trendeket elemző két bemutatott vizsgálat eredményei leginkább arra utalnak, hogy a fanövekedés az utóbbi két-három évtizedben felgyorsult. Az értékelés erőssége, hogy nagyszámú adatot dolgozott fel, amivel kiküszöbölhető volt az a probléma, hogy a famagasság-mérés viszonylag nagy hibával végezhető csak. Az Adattár felvételi metodikájában, az adatok feldolgozásában, továbbá az erdők kezelésében viszont 1981 és 2001 között olyan változások állhattak be, amelyek hatással lehettek a kimutatott famagassági görbékre. A projekt keretein belül mindent megtettünk annak érdekében, hogy a fentiekből adódó bizonytalanságot csökkentsük, és ez alapján megállapítható, hogy *a famagasság-növekedés gyorsulás jelentős megbízhatósággal bizonyítottnak tekinthető.*

A termőhelyi viszonyok – fanövekedés összefüggéseket illetően le kell szögezni, hogy mind a „hőmérsékleti viszonyok", mind a „csapadékviszonyok" nagyon bonyolultak, és önmagában valamely átlag (pl. éves, havi, vegetációs időszaki stb.), minimum vagy maximum érték stb. az eddigi tapasztalatok szerint nem elégséges a fanövekedés megmagyarázására még akkor

[2] A csapadék mennyisége a klimatológiai kutatások jelenlegi állása szerint egy ideig némileg csökken majd. Emellett magasabb hőmérsékletnél inkább előfordulhat, hogy leglább időszakosan a víz válik Liebig-féle minimum-tényezővé. Mindez azonban jelentősen nem módosítja a következtetéseinket.

sem, ha a hőmérséklet vagy a csapadék egy-egy időszak során gyakran Liebig-féle minimumban van is. A tengerszint feletti magasságnak, mint az adatbázisban rendelkezésre álló, a hőmérséklettel és a csapadékmennyiséggel is szoros kapcsolatban lévő segédváltozónak az alkalmazása azonban szerencsés, hiszen így továbbra sem kizárólag egy-egy átlaggal vagy eloszlással kell dolgoznunk, mivel az egyes tengerszint feletti kategóriákban jellemzően nemcsak az átlagok, de a napi és évszakos eloszlások, a minimum- és maximum értékek, és más hőmérsékleti- és csapadékjellemzők is sajátosan alakulnak.

A TSZFM csökkenésével az átlaghőmérséklet jellemzően nő, ugyanakkor a csapadék mennyisége csökken, csökkentve, - vagyis nem növelve - így a hőmérséklet-emelkedés hatását. Más szóval ez annyit jelent, hogy ha feltételezzük, hogy a hőmérséklet növekedésével gyorsul a fanövekedés, akkor a TSZFM csökkenésével növekvő hőmérséklet a kimutatott famagasság-növekedésnél csak nagyobb növekedést eredményezhet. Természetesen hozzá kell tenni azt, hogy a vizsgálat módszertanából adódóan a hőmérséklet és a famagasság között ok-okozati kapcsolatokról nem, csak statisztikai értelemben vett korrelációról beszélhetünk.

A hőmérséklet és a csapadék mellett az eredmények értékelésekor valamennyi egyéb termőhelyi tényezőt figyelembe kell venni, és a „ceteris paribus” elvet kell alkalmazni. Ez azt jelenti, hogy különböző TSZFM kategóriákban megfigyelt famagasságokat csak azonos egyéb termőhelyi tényezők mellett szabad összehasonlítani. Ezt az elvet csak olyan mértékben tudtuk érvényesíteni, amilyen mértékben az Adattár adatbázisban rendelkezésre álltak termőhelyi információk (pl. talajtípus, kitettség). A legtöbb termőhelyi tényező (pl. a fotoszintézishez rendelkezésre álló fény mennyisége) viszont szerencsére a hőmérséklettel ellentétes irányban hat a növekedésre (csökkentik a növekedést, ha a hőmérséklet nő, és fordítva), s így az elemzésből történő kihagyásuk nem csökkenti, hanem növeli a tengerszint feletti magasság és a növekedés között megállapított összefüggés megbízhatóságát.

Az eredmények értékelésekor ugyanakkor egy további korlátot, a bizonytalanságot növelő tényezőt kell megemlíteni, nevezetesen, hogy ebben a vizsgálatban is, csakúgy, mint minden más, az Adattár adataira alapozott vizsgálatban a famagasságokat elemeztük, amely természetesen korfüggő. A kor hatását az **5. ábrá**val kapcsolatban említett dőlésszögek mértékére több esetben ki lehet mutatni, több esetben ugyanakkor nem. Ez nem jelenti azt, hogy a tengerszint feletti magasságnak, s az azzal együtt mozgó átlaghőmérsékletnek nincs hatása, csak azt, hogy a famagasság mértékét egy-egy vizsgált korcsoportban a tengerszint feletti magasságon, koron, kitettségen stb. kívül még sok más tényező is befolyásolhatja (ill. nincs elegendő adat az adott korcsoportban). Ezen tényezők elemzése, a famagasság-növekedés biológiájának vizsgálata nem lehetett tárgya ennek az analízisnek.

A klímatipusok elemzésekor a TSZFM-hez képest esetenként szorosabb kapcsolatokat találtunk. A TSZFM-el szemben a klímatípust nem egyetlen fizikai jellemzővel, hanem azzal jellemezzük, hogy ott egy adott fafaj előfordulása jellemző. Ez az előfordulás azonban csak annyit mutat, hogy ott a fafaj (pl. a bükkös klímatípusban a bükk) *valamennyi* termőhelyi tényezőt tekintve „jól érzi magát”. Ezért bár a klímatípus és a fanövekedés között esetenként szoros összefüggést találtunk, ezeket egyelőre nem tudtuk felhasználni a hőmérséklet famagasságra gyakorolt hatásának az elemzésére.

Mindazonáltal további – térinformatikai eszközöket alkalmazó – vizsgálatokat igényel a TSZFM és a famagasság közötti összefüggések mélyebb megértése is. Az Adattárból leválogatott – a növekedés szempontjából talán nem is mindig legfontosabb - termőhelyi jellemzők kombinációiból sokféle termőhely-típus definiálható, ám valamennyi szituációt

nem elemezhettünk részletesen, mert feladatunk az volt, hogy országos átlagban határozzuk meg az összefüggéseket. Ezek az összefüggések feltehetően nem lineárisak, és az összefüggések szorossága és jellege feltehetően a kortól is, valamint természetesen sok más tényezőtől is függ.

A hőmérsékleti forgatókönyvek hatáselemzésekor (II(b) kérdés) kapott számok alapján – ismételten hangsúlyozva a becslés közelítő jellegét – összefoglalva megállapítható, hogy az 1981-2001 közötti hőmérsékletemelkedés magyarázhatta az átlagos magassági méretek megfigyelt emelkedését, hiszen nagyságrendben hasonló értékeket kaptunk mind az I(a) és I(b), mind pedig a II(b) kérdés vizsgálatánál.

Végezetül megjegyezzük, hogy a kimutatott magasság-növekedésből adódó fatérfogat-növekedés mértéke várhatóan nem indokolja a fakitermelés volumenének jelentősebb fokozását. Emellett a Liebig-törvény értelmében a fanövekedés-gyorsulás a hőmérséklet további emelkedésével csak bizonyos korlátok között valósulhat meg (Mátyás–Nagy (2005), Mátyás (2006)). Az IPCC (2007) szerint globálisan a fatermékek termelése csekély mértékben lesz növelhető a rövid- és középtávon, és a produktivitás 1-3 fok további hőmérséklet-emelkedésig növekedhet tovább. Előbb-utóbb ugyanis a magasabb hőmérséklet és gyorsabb fanövekedés miatt megnő a fák vízigénye is, és – a jelenlegi forgatókönyvek szerint – csökken a nyári csapadék mennyisége, s mivel a fák számára rendelkezésére álló víz mennyisége már eddig is közel limitáló volt, a jövőben a víz korlátozhatja a fanövekedést, sőt, a vízhiány a fák száradásához vezethet. Feltételezhető azonban, hogy még egy-két évtized „haladékuk” van a fáknak, ill. az erdőgazdálkodásnak is arra, hogy alkalmazkodjanak a változó viszonyokhoz.

Köszönetnyilvánítás

A kutatásokat a Mátyás Csaba akadémikus által vezetett Klímaerdő nevű NKFP program tette lehetővé. Az Adattár adatait az Állami Erdészeti Szolgálat bocsátotta rendelkezésünkre. Az ERTI KTT kísérleti területek létesítésében és felvételében több évtized alatt sok kutató és technikus vett részt; közülük Solymos Rezső, Béky Albert, Bogyai János, valamint Balikó János munkája volt meghatározó.

Idézett irodalom

IPCC, 2007. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers, April 6th, 2007. http://www.ipcc.ch.

Járó, Z. 1973. Erdészeti termőhelyfeltárás, termőhelyvizsgálat (műszaki irányelvek). In: Danszky, I. (szerk.): Erdőművelés. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest. 853-868.

Király, 1986. Élőfakészlet, fakitermelés, fapusztulás, növedék. Budapest, kézirat.

Kuusela, K. 1994. Forest resources in Europe 1950-1990. European Forest Institute Research Report No. 1. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Makkonen-Spiecker, K., Somogyi, Z. 2000. Az európai erdők felgyorsult növekedéséről - egy európai kutatási program eredményei és visszhangja. Erdészeti Kutatások 89:73-80.

Mátyás, Cs. 1994. Modeling climate-change effects with provenance test data. Tree Physiology 14: 797-804.

Mátyás Cs. 2006. Migratory, genetic and phenetic response potential of forest tree populations facing climate change. Acta Silvatica et Ligniaria, 2: 33-46

Mátyás, Cs., Czimber, K. 2000. Zonális erdőtakaró mezoklíma szintű modellezése: lehetőségek a klímaváltozás haásainak előrejelzésére. II. Erdő és klíma konferencia kiadványa (Debrecen, 2000. július 7-9.), 83-97.

Mátyás Cs., Nagy L. 2005. Genetic potential of plastic response to climate change. Tag.Ber., Forum Genetik und Wald, (ed. M. Konnert) Teisendorf , 55-69

Somogyi, Z. 1998a. Gyorsuló fanövekedési trendek Európában I. Erdészeti Lapok CXXXIII.1:6-7.

Somogyi, Z. 1998b. Gyorsuló fanövekedési trendek Európában II. Erdészeti Lapok CXXXIII.2:37-38.

Somogyi, Z. 1998c. Gyorsuló fanövekedési trendek Európában III. Erdészeti Lapok CXXXIII.3:65-66.

Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M., Skovsgaard, J. P. (ed.) 1996. Growth trends in European forests. European Forest Institute Research Report No. 5. Springer.

Szabados, I. 2007. Időjárási fluktuáció hatása a produkcióra dendrokronológiai kutatások alapján. In: Mátyás, Cs., Vig, P. (szerk.) Erdő-klíma V., NYME, Sopron, 295-306.

Szalai, S, Szentimrey, T. 2002. Melegedett-e Magyarország éghajlata a XX. században? Beszámoló a 2000. évi tevékenységről. OMSZ, Budapest. pp. 3-14.

Tóth, J. 1998. Hozzászólás Dr. Somogyi Zoltán: “Gyorsuló fanövekedési trendek Európában I., II. és III. c. cikkéhez. Erdészeti Lapok.