

A KLÍMAVÁLTOZÁS EGY LEHETSÉGES HATÁSA AZ ERDŐGAZDÁLKODÁSBAN

Führer Ernő, Marosi György, Jagodics Anikó és Juhász István

Erdészeti Tudományos Intézet

Kivonat

Az előre jelzett klímaváltozás az erdőgazdálkodás ökológiai és ökonómiai feltételeit alapvetően befolyásolja. Az erdészeti aszályossági index segítségével három erdészeti tájban (Magas-, Déli- és Keleti-Bakony) jellemeztük és lehatároltuk az erdészeti klímaosztályok területét és annak két klímaszcenárió (enyhe/erős) szerinti változását. Értékeljük a klímajelző fafajok (bükk, gyertyán, kocsánytalan tölgy és cser) fatermőképességi viszonyait és azok változását, majd pedig a fatermesztés ökonómiai modelljét alkalmazva becsültük az erdőgazdálkodás jövedelmezőségét. Az értékelésből megállapítható volt, hogy a klímaszcenárióknak megfelelően az erdészeti klímaosztályok eltolódnak, a bükkös klíma jelentősen csökken vagy eltűnik, a kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma területe pedig jelentősen növekszik. Az egyes klímaosztályok fatermőképességi viszonyai az említett szcenáriókra vonatkozóan romlani fognak. A fatermesztés ökonómiai modelljét alkalmazva a klímajelző fafajok várható hozama és örökös járadéka egy drasztikusabb forgatókönyv esetén 15%-kal alacsonyabb lesz. Ez oly mértékű jövedelemcsökkenést eredményez, amely miatt az erdők tartamos fenntartása a távolabbi jövőben kétségesse válik.

Kulcsszavak: erdészeti klímaosztályok, fatermőképesség, korszaki hozam, örökös járadék

A POSSIBLE EFFECT OF CLIMATE CHANGE IN FOREST MANAGEMENT

Abstract

The expected climate change will basically affect the ecological and economic conditions of forest management. We applied the Forestry Aridity Index (FAI) to determine and characterize the areas of forestry climate classes in three forestry regions of the mountain range Bakony and to reveal the changes according to two climate scenarios. We evaluated the production capacities of climate indicator tree species (beech, hornbeam, sessile oak and Turkey oak) and the profitability of forest management using the economic model of primary wood production. Based on this we were able to state that the forestry climate classes move in accordance with the climate scenarios: the area of beech climate disappears or decreases and the area of sessile oak–Turkey oak climate increases significantly. Furthermore, the production capacities of climate classes will deteriorate. The expectable yield and forest rent of these tree species will be 15% lower in the case of a drastic scenario. This will result in the decrease of proceeds and due to this the sustainability of forests will be uncertain in the future.

Keywords: forestry climate classes, production capacity, periodic gross margin, forest rent



BEVEZETÉS

A klímaváltozásnak az erdőgazdálkodásra gyakorolt hatása több egymásra épülő folyamat eredményeként mérhető. A klíma mint integrált ökológiai/termőhelyi tényező egyrésztől meghatározza fafajaink elterjedését, az erdőművelési beavatkozások mellett befolyásolja azok szervesanyag-termelését, másrésztől mindezeket keresztül és a mindenkor piaci viszonyoktól függően kihat a gazdálkodás jövedelmezőségére is (Führer és Járó 1992).

Magyarországon a meteorológiai előrejelzések alapján (Bartholy 2006, Láng és mtsai 2007, Bartholy és mtsai 2010) az időjárás szárazabb és melegebb lesz az elkövetkező 50 évben, az időjárási anomáliák pedig gyakoribbakká és mértéküket tekintve erősebbekké válnak. Mindez kihat az erdei életközösség összetételére (Mátyás és Czímber 2000, 2004, Berki és mtsai 2009, Czúcz és mtsai 2010, Mátyás 2010, Mátyás és mtsai 2010), az életközösség egyes tagjainak vitalitására (Molnár és Lakatos 2007, Csóka és mtsai 2007, 2009) és növekedési viszonyaira (Führer 1995, Manninger 2004, Solymos 2009, Somogyi 2009). Az életközösség meghatározó tagjai a gazdasági szempontból is kiemelkedő fontosságú fák, amelyek környezettudatos hasznosítása társadalmi érdek és elvárás.

Az eddigi kutatások (NKFP6-00047/2005, TÁMOP-4.2.2/08/1-2008-0020, OTKA 80305 és 80335) alapján az erdészeti gyakorlatban alkalmazott klímakategóriák más-más növekedési potenciált mutatnak, ezért területük módosulása kezdetben együtt járhat a szervesanyag-termelés csökkenésével, a kedvezőtlenebb körülmények tartós (50–100 év) fennmaradása esetében pedig a fajösszetétel megváltozásával is. A klímaváltozás hatására tehát kezdetben a fatermésiosztály-szerkezet válik kedvezőtlenebbé. Ennek következtében a kitermelhető fatérfogat csökken, az átlagos hozam alacsonyabb lesz. A fatermesztés költségei minimálisan változnak. E folyamat végső következménye lesz az erdőgazdálkodás hozamának csökkenése, ill. jövedelmezőségének romlása. Ebben a tanulmányban a bakonyi erdészeti tájak példáján két klímaforgatókönyvre vonatkozóan modellszerűen ismertetjük a várható ökológiai és ökonómiai hatásokat.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatok számára kijelölt egymással érintkező és szorosan összefüggő erdészeti tájak a Magas-Bakony, a Déli- és a Keleti-Bakony, területük tulajdonképpen megfelel a Bakony hegység területének. A kiválasztás azért esett e három tájra, mert a tengerszint feletti magasság 150 m-től 700 m-ig terjed, a vertikális zonalitás markánsan kifejeződik, és ennek megfelelően az erdészeti klímakategóriák is szemléletesebben elkülönülnek.

Az értékelés első szakaszában az említett tájakat – a fák növekedési viszonyait figyelembe vevő erdészeti klímaosztályozás (Führer 2010, Führer és mtsai 2011) szerint – klimatológiailag jellemeztük. Ez az értékelés azoknak a nyári hónapoknak a csapadék- és hőmérsékletadataira épít, amelyekben a fák fiziológiai folyamatai intenzívek, és a szervesanyag-képzés 80–90%-a megvalósul. A tájakat lefedő FNM (Kolozs és mtsai 2009) pontokra interpolált meteorológiai adatok alapján a fő növekedési periódus (V–VII. hónapok) és az ún. kritikus hónapok (VII–VIII.) időjárási viszonyait kifejező *erdészeti aszályossági index* (FAI) (Führer 2010) segítségével határoztuk le a vizsgált tájakon előforduló erdészeti klímakategóriák területét, és azt térképen ábrázoltuk. A FAI kiszámítása a következő képlet szerint történik:

$$FAI = 100 \cdot \frac{T_{VII-VIII}}{P_{V-VII} + P_{VII-VIII}},$$

ahol $T_{VII-VIII}$ a kritikus hónapok átlaghőmérséklete ($^{\circ}C$), P_{V-VII} a fő növekedési ciklus csapadékösszege (mm), és $P_{VII-VIII}$ a kritikus hónapok csapadékösszege (mm).

Ezt követően az erdészeti adatbankból kigyűjtöttük az így lehatárolt klímakategóriák célállományainak fatermőképességét (I–VI. fatermési osztály), és értékeltük a klímakategóriák potenciális szervesanyag-termelő képességét.

A fatermési osztályokhoz a vágáskorra vonatkozóan a fafajtól és a mindenkori piaci körülményektől függően egy bizonyos nagyságú átlagos éves hozam köthető. Ennek meghatározása és várható változásának megállapítása táji szinten a gazdálkodás eredményességéről és jövőbeni alakulásáról nyújt értékes információt. A faanyagtermelés és a ráépülő értékesítés révén elérhető hozam változása tehát alkalmas a klímaváltozás gazdasági hatásának kimutatására. A tartamos erdőgazdálkodás megvalósítása ugyanis nemcsak a biológiai alapok megőrzésétől, hanem a gazdálkodás stabil pénzügyi feltételeitől, továbbá a rendezett társadalmi kapcsolatokról is függ.

Az ökonómiai értékelés során ezért meghatároztuk a vizsgálatba vont célállományok (fafajcsoportok) modellezett hozamát. Egy gazdálkodó szervezet vagyonkezelésében lévő teljes erdőterületre számított *korszaki hozam* hosszabb időszakra is elfogadható pontossággal jeleníti meg az elvárható hozamot.

A korszaki hozam meghatározásához összeállítottuk a fatermesztés komplex ökonómiai modelljét, célállomány és fatermési osztály (FTO) differenciálásban (Marosi és mtsai 2005). A modellezés mint módszer a rendszerszemléletű vizsgálódás egyik legjobb eszköze, arra hívja fel a figyelmet, hogy a gazdasági folyamatok egyes részeit, fázisait nem célszerű egymástól elszigetelten vizsgálni, mert a közöttük meglévő kölcsönhatások, összefüggések ismerete nélkül könnyen juthatunk valótlan következtetésre. Különösen igaz ez olyan termelő rendszer esetében, mint az erdőgazdálkodás. Ez ugyanis magában foglalja az emberi tevékenységet, a felhasznált munkaeszközökön és munkatárgyakon, anyagokon túl az erdőben mint ökoszisztémában érvényesülő életfolyamatokat is.

Az erdőgazdálkodási tevékenységet szimuláló modellek általában több évtized történéseit sűrítik össze, ebből adódóan nem kismértékű bennük a bizonytalanság. A fatermesztés komplex ökonómiai modelljeinek részei:

- az úgynevezett hozamtevékenységek modellje kronologikus sorrendben (forrás: erdőnevelési modellek, vállalati adatok),
- természetes hozamok (forrás: fatermési táblák, fatermesztési modellek, méretcsoport- és választéktáblázatok, konkrét vállalati adatok),
- hozam modell (forrás: különböző elemző munkák során gyűjtött állami erdészeti adatok).

A három párhuzamos részmodellben a vágásforduló valamennyi hozama megjelenik, időrendi sorrendben. Kellően nagy erdőterület esetén az idősor konvertálható területi sorra – így adja ez a fatermési osztály éves átlagos hozamát. A folyamatos erdőgazdálkodás körülményei között további használható mutató az *éves örökös járadék*. Ez birtoknagyságtól függetlenül összehasonlíthatóvá teszi az eltérő vágáskorral kezelt fafajok hozamát (Márkus és Mészáros 2000). Az éves örökös járadék számítása az alábbi képlettel történik:

$$r = \frac{0,0p \cdot R}{(1,0)^m - 1},$$

ahol r az örökös éves járadék (eFt/ha), R az örökös korszaki járadék, amelyet mi itt a korszaki hozammal azonosítottunk, p az úgynevezett erdészeti kamatláb (2%), és m az egyes célállományok vágáskora.

A vizsgált célállományok klímaváltozás hatására bekövetkező területi átrendeződésének gazdasági hatását a hozammutatók segítségével számíthatjuk ki. Tehát a komplex ökonómiai modellek alapján számított korszaki hozam és éves örökös járadék értékeinek és egy adott erdőterület célállományai által elfoglalt terület szorzataként adható meg az erdészeti táj hozama. Ezen érték változására következtethetünk pl. akkor, amikor az egyes klímaszenáriók figyelembevételével megbecsüljük a klímakategóriák területének és potenciális termőképességének várható módosulását.

A számításokat két klímaváltozási szenárió (1. táblázat) szerint értékeltük, melyek az időjárás paramétereinek az 1961–1990. időszak (bázisidőszak) átlagától való eltérését adják meg.

1. táblázat: A havi csapadékösszeg-változás (ΔP) és a havi középhőmérséklet változása (ΔT) a figyelembe vett klímaváltozási szcenáriók esetén

Table 1: Change of monthly precipitation (ΔP) and the change of mean monthly temperature (ΔT) in the case of the climate scenarios applied in this study

Szcenárió	tavasz		nyár	
	ΔP (%)	ΔT (°C)	ΔP (%)	ΔT (°C)
1.	0	0,0	0	+1,0
2.	+5	+1,3	-9	+2,1

Az 1. szcenárió már a jelen időszakra érvényes hőmérsékleti viszonyokra jellemző. A 2. szcenárió a REMO regionális klímamodell A1B kibocsátási forgatókönyvre számított eredményei szerint adja meg a térségben várható változásokat a 2036–2065. időszak átlagára vonatkozóan (Gálos és mtsai 2007).

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A Dunántúli-középhegység erdészeti tájcsoport legnagyobb tagja a Bakony, melynek nagy része a változatos ökológiai (talajtani, hidrológiai, időjárás) viszonyok alapján három erdészeti tájba (Magas-, Déli- és Keleti-Bakony) sorolható (Halász 2006).

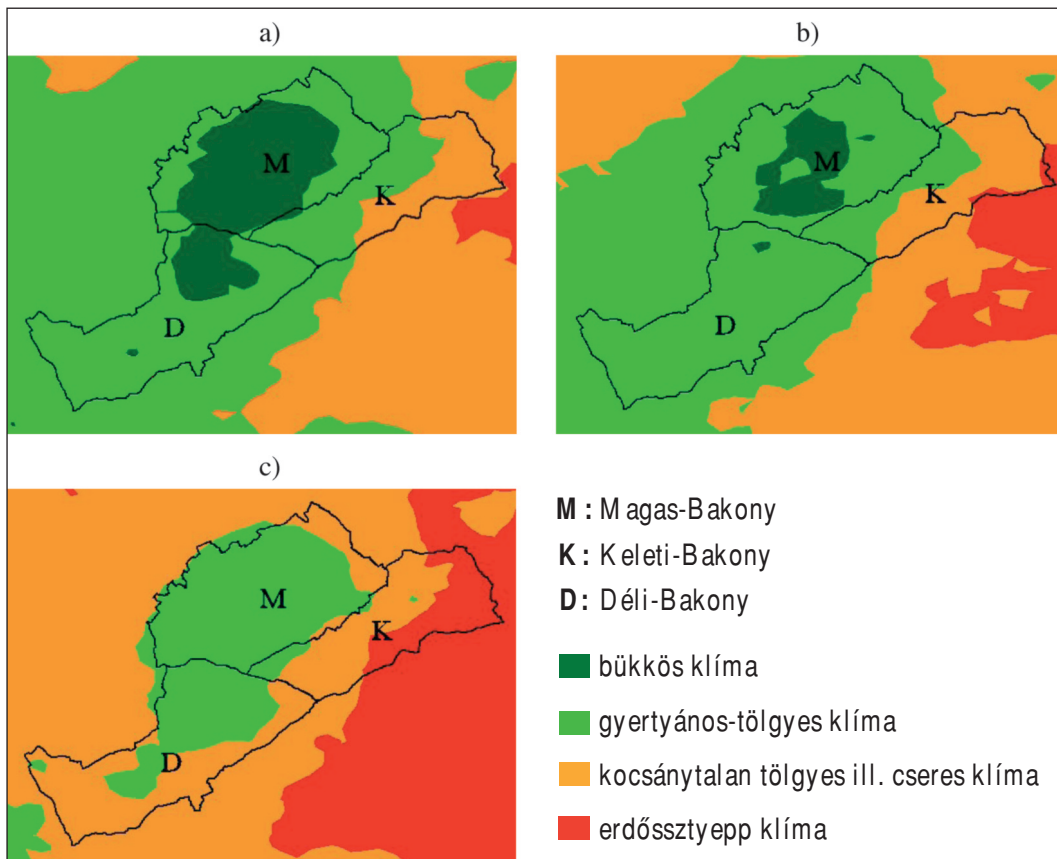
A vizsgált erdészeti tájak klímája

A Bakony hegységet általánosságban mérsékelt hűvös – mérsékelt nedves klíma jellemzi. A Magas-Bakony éghajlata ennél hűvösebb és csapadékosabb, átmeneti jellegű a hűvös – nedves klíma felé. Az uralkodó szélirány északnyugati. Az FNM pontokra interpolált meteorológiai adatok alapján a tájak klímájáról a következőket mondhatjuk el.

- A *Magas-Bakony* térségében 1961–1990-ig terjedő időszak átlagos éves csapadéknagysága 737 mm, az átlaghőmérséklete pedig 8,8 °C, mindkettő megfelel a bükkös klímára jellemző értékeknek (752±31 mm, 8,8±0,9 °C). A fő növekedési periódus (V–VII. hónapok) átlaghőmérséklete 16,1 °C, az ún. kritikus hónapoké (VII–VIII. hónapok) pedig 18,0 °C, amelyek alacsonyabbak a klímakategória átlagainál (16,6±0,8 ill. 18,5±0,8 °C). Ugyanezekre az időszakokra jutó csapadékmennyiségek (226, ill. 158 mm) valamivel a bükkös klímára jellemző értékek (259±13 és 167±9 mm) alatt vannak. A FAI értéke a táj területére 4,69, amely közelít a bükkös klíma felső határértékéhez (FAI_B: <4,75). Az 1. szcenáriónak megfelelő mértékű klímaváltozás esetén a FAI értéke már 4,95-ra növekszik, és a terület túlnyomó részén (mintegy 65%) már a gyertyános-tölgyes klíma lesz a jellemző (1. ábra). A 2. szcenáriót figyelembe véve a FAI átlagos értéke 5,59-re emelkedik, és bükkös klímájú terület már egyáltalán nem fordul elő, azaz hosszabb távú tendenciák alapján számítanunk kell a mai értelemben vett bükkösök övének kiszorulására a tájról. A kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma megjelenése viszont a terület 13%-án várható.
- Az 1961–1990-ig terjedő időszak átlagos éves csapadékösszege a *Keleti-Bakonyban* 634 mm, az átlaghőmérséklete pedig 9,3 °C. A gyertyános-tölgyes klímára jellemző átlagos értékekhez (663±55 mm, 9,4±0,7 °C) állnak közelebb. A fő növekedési periódus (V–VII. hónapok) átlaghőmérséklete 17,3 °C, a kritikus hónapoké (VII–VIII.) pedig 19,4 °C. Ugyanezen két időszakra a csapadékmennyiség 198, ill. 132 mm, mely adatok a gyertyános-tölgyes klímára jellemző átlagértékek (218±15 és 139±13 mm) alatt vannak. A FAI átlagos értéke a tájon 5,88, amely közelít a gyertyános-tölgyes klíma felső határértékéhez (FAI_{Gy-T}: 4,751–6,000). Ha a klímaváltozást az 1. szcenárióval számoljuk, akkor a FAI értéke már 6,19-ra növekszik,

így a terület nagyobb részén (57%) várhatóan gyertyános-tölgyes klíma, míg a fennmaradó területen kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma lesz az uralkodó, bükkös klíma pedig nem fordul már elő (1. ábra). Azaz kis mértékű hőmérséklet-emelkedés esetén is számítanunk kell a bükkös öv kiszorulására a tájról. A 2. szcenárió bekövetkezése esetén a FAI értéke 6,95-ra változik. Ennek megfelelően a táj területének 18%-án jelen lenne az erdőssztyepp klíma, a gyertyános-tölgyes klíma pedig már csak 14%-nyit foglalna el.

- A *Déli-Bakony* erdészeti tájban az 1961–1990-ig terjedő időszak átlagos éves csapadék 693 mm, az átlaghőmérséklete pedig 9,4 °C, ez a gyertyános-tölgyes klímára jellemző átlagos értékeknek (663±55 mm, 9,4±0,7 °C) felel meg. A fő növekedési periódus (V–VII. hónapok) átlaghőmérséklete 16,7 °C, a kritikus hónapoké 18,6 °C, amelyek alacsonyabbak a klímakategória átlagainál (17,5±0,8 ill. 19,6±0,7 °C), inkább a bükkös klímára jellemző értékeknek felelnek meg. Ugyanezen időszakokra jutó átlagos csapadékösszegek 219, ill. 150 mm, mely adatok viszont a gyertyános-tölgyes klímára jellemző értékekkel (218±15 és 139±13 mm) azonosak. A FAI átlagos értéke 5,03, amely szintén a gyertyános-tölgyes klímakategóriába esik (FAI_{GY,T}: 4,751–6,000). Az 1. szcenáriót alapul véve a FAI értéke 5,30-ra növekszik, és a gyertyános-tölgyes klíma lesz uralkodó szinte az egész tájon, a bükkös klíma már csak a terület 1%-ára terjed ki (1. ábra). Ha a 2. szcenáriót tekintjük, akkor a FAI értéke a táj területén átlagosan 5,98-ra



1. ábra: A klímaosztályok elterjedése a FAI alapján a vizsgált erdészeti tájakban.

a) 1961–1990. bázisidőszak b) 1. szcenárió c) 2. szcenárió

Figure 1: Spreading of climate classes on the basis of FAI in the examined forest regions.

a) base period (1961–1990) b) scenario 1 c) scenario 2



emelkedik, amely már a gyertyános-tölgyes klíma határa a kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma felé. Ekkor a gyertyános-tölgyes klíma a táj 53%-án fordulna már csak elő, a táj többi részén kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma lesz a jellemző. Ez alapján tehát a bükkösök övének teljes eltűnése várható.

- A három táj 30 éves bázisidőszakra kiszámított átlagos erdészeti aszályossági index-értéke (FAI érték) 5,09, amely a gyertyános-tölgyes klíma kedvezőbb állapotára jellemző érték. Ennek változása az 1. scenárió alapján kismértékű, továbbra is a gyertyános-tölgyes klíma fog uralkodni a tájak területének nagy részén (FAI: 5,37). A 2. scenárió alapján (FAI: 6,05) viszont jelentősen növekszik a kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma területe, amely a Keleti-Bakonyban uralkodóvá válik, a Magas-Bakonyban pedig a gyertyános klíma lesz a jellemző.

Az erdőtervi (MGSZH 2008), azaz a klímajelző fafajok szerinti besorolás alapján (2. táblázat) a *Magas-Bakonyban* fekvő erdőrészek területének 70%-a bükkös klímájú (B), ezt követi a gyertyános-tölgyes klíma (GY-T) 29%-kal, és csak csekély területi elterjedésű (1%) a kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma (KTT ill. CS) (1%). A *Keleti-Bakonyban* az erdőterület klíma szerinti megoszlását tekintve a terület felén a kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma a jellemző, a gyertyános-tölgyes klíma területaránya 36%, a bükkös klíma itt az erdőterületnek csak 14%-át foglalja el. A *Déli-Bakonyban* viszont a gyertyános-tölgyes klíma fordul elő a legnagyobb arányban, a terület 44%-án jellemző, 35%-án kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma uralkodik, a bükkös klíma aránya pedig 21%.

A fenti számoktól eltér az erdészeti aszályossági index (FAI) szerinti besorolás. Az 1961–1990. időszakot mint bázist alapul véve, bükkös klíma a *Magas-Bakony* erdőterületének 67%-án jellemző, a *Déli-Bakony* 23%-án, a *Keleti-Bakony* azonban már csak 2%-án fordul elő bükkös klíma. A gyertyános-tölgyes klíma legnagyobb arányban (77%) a *Déli-Bakonyban* fordul elő, a *Keleti-Bakony* is mintegy 70%-án, a *Magas-Bakony* pedig 33%-án. A *Keleti-Bakonyban* a kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma is jelentős területarányt (28%) képvisel.

A két klímabesorolás közti eltérés felhívja a figyelmet arra, hogy az erdőtervben lévő adatok, amelyeket a mindenkorai fafaj-politikai irányelvek is módosíthattak, a jövőben felülvizsgálatra szorulnak.

2. táblázat: Az erdőterület megoszlása erdészeti klímakategóriák szerint (erdészeti adatbank (MGSZH 2008) és az FNM pontokra számított FAI mutatószámok alapján)
Table 2: Breakdown of forest land area in accordance with forestry climate classes (based on the forestry database (MGSZH 2008) and the FAI calculated for FNM points)

Klíma	Magas-Bakony		Déli-Bakony		Keleti-Bakony		Bakonyösszesen	
	erdőterv	FAI	erdőterv	FAI	erdőterv	FAI	erdőterv	FAI
B	70%	67%	21%	23%	14%	2%	40%	36%
GY-T	29%	33%	44%	77%	36%	70%	36%	57%
KTT ill. CS	1%	0%	35%	0%	50%	28%	24%	7%

A vizsgált tájak fatermőképesség szerinti összetétele és annak változása scenáriók alapján

Az egyes tájak fafajainak fatermőképessége

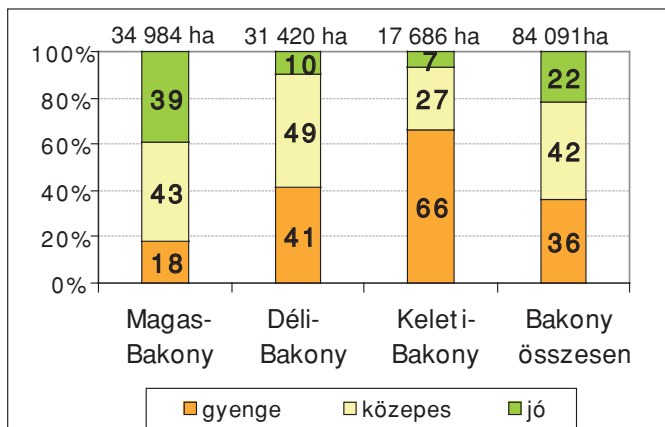
A termőhely fatermőképességét a kritikus vágásérettségi korra számított évi átlagnövedékkel jellemezhetjük, és jó, közepes, gyenge fatermőképességi csoportba soroljuk. Az erdőtervi adatok alapján a vizsgált tájakra az alábbi viszonyok a jellemzők (MGSZH 2008).

A fatermőképességet tekintve a *Magas-Bakony* rendelkezik a legkedvezőbb adottságokkal (2. ábra). Ebben a tájban a jó növekedésű faállományok részaránya a legnagyobb, szemben a Bakony másik két tájával, ahol a jó fatermőképességű erdők képviselik a legkisebb arányt. A *Keleti-Bakonyban* a terület kétharmadán gyenge

növekedésük az erdők. Itt a legkedvezőtlenebbek a termőhelyi adottságok, amiben a klímának is döntő szerepe van. A Déli-Bakonyban és a Magas-Bakonyban az állományok legnagyobb része közepes fatermőképességi csoportba sorolható, de míg a Magas-Bakonyban emellett a jó növekedésű, addig a Déli-Bakonyban a gyenge növekedésű erdők borítják hasonlóan nagy arányban a tájat.

Fafajok tekintetében is jól kirajzolódik a különbség a három tájban. A Magas-Bakonyban a jó növekedésű bükkösök, tölgyesek és lucfenyvesek aránya kiemelkedő a többi fafajhoz képest, bár meg kell jegyezni, hogy a lucfenyő csak kis területen fordul elő a Bakony térségében, területaránya a Magas-Bakonyban sem éri el a 2%-ot. A legfontosabb fafajok esetében a Déli-Bakonyra leginkább a közepes fatermőképesség a jellemző. Az egyéb tölgyek közül legnagyobb területtel a molyhos tölgy rendelkezik, mindhárom tájban feltűnően gyenge növekedéssel. A Keleti-Bakonyban a kocsánytalan tölgyes és a cseres állományoknak több mint 60%-a a gyenge fatermési csoportba sorolható, míg a Déli-Bakonyban ennek előfordulása 50%, a Magas-Bakonyban pedig 30% alatti. Nagyobb területi aránya a fenyők közül a feketefenyőnek van, amelynek elterjedése a Déli-Bakonyban 7, a Keleti-Bakonyban pedig 11%-os, és többségükben gyenge növekedésűek.

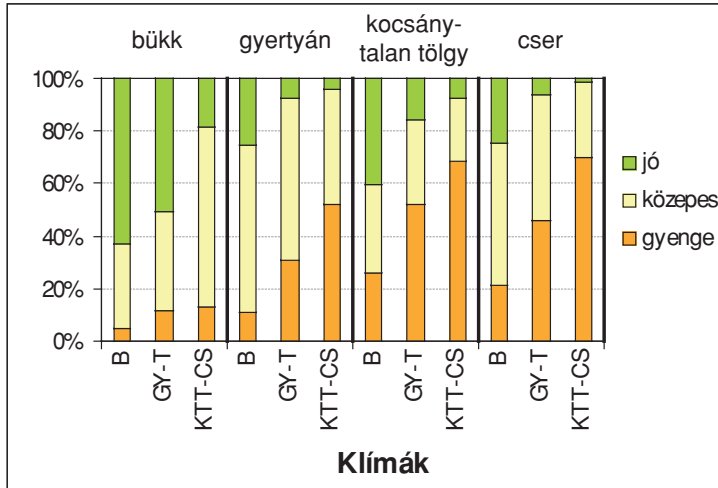
A fatermési osztályok (I–VI.) területi előfordulásának megoszlása alapján kiszámított átlagos fatermőképességi mutató a Magas-Bakonyban 3,1, a Déli-Bakonyban a gyengébb ökológiai adottságok miatt már 4,2, a legkedvezőtlenebb talaj- és klímaviszonyokkal jellemezhető Keleti-Bakony erdészeti tájban pedig eléri a 4,9-et.



2. ábra: A faállománnyal borított terület megoszlása fatermési csoportok szerint a Bakonyban
Figure 2: Stocked areas according to forest yield groups in Bakony

A klímajelző fafajaink fatermőképessége a vizsgált tájokban

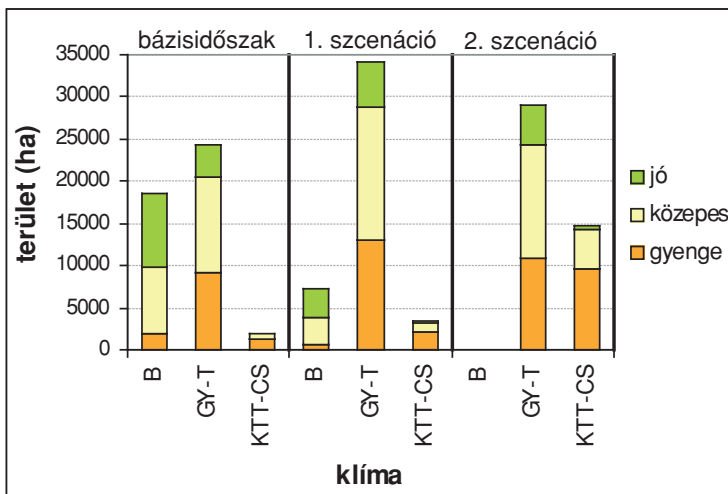
A három bakonyi erdészeti táj erdőinek területe 84 091 ha. Ennek 67%-át a klímajelző fafajok teszik ki, ebből a kocsánytalan tölgy 6%-os, a gyertyán 12%-os, a bükk és a cser pedig 22 ill. 27%-os redukált területi arányt képvisel. A klímaosztályonkénti értékelés alapján a bükköstől a kocsánytalan tölgyes klíma felé haladva a jó növekedésű állományok aránya egyértelmű csökkenést mutat mind a négy klímajelző fafaj esetében (3. ábra). Ugyanakkor a gyenge fatermési tulajdonságokkal rendelkező állományok területaránya jelentősen növekszik a gyertyán, a kocsánytalan tölgy és a cser esetében. A bükknél viszont a cseres klímában nem a gyenge, hanem a közepes növekedésű állományok területaránya növekszik számottevően. Természetesen a klíma, ezen belül elsősorban a csapadék hatásának érvényesülését a talaj igen nagymértékben befolyásolja. PI. kedvező klímakörülmények mellett a sekély termőrétegű és mechanikai összetételét tekintve túlságosan kötött vagy magas vázrésszel rendelkező talajokon gyenge növekedésű faállományok tenyésznek. De fordítva is igaz, azaz a szerkezetében kedvezőbb és mélyebb termőrétegű talajon álló állományok a kevesebb csapadékvizet jobban képesek hasznosítani, így növekedésük is nagyobb.



3. ábra: A klímajelző fafajok területének megoszlása a klímaosztályokban fatermési csoportok szerint
 Figure 3: Breakdown of climate indicator tree species in the climate classes according to forest yield groups

A fatermőképesség klímaszcenáriók szerinti változása

A klímában bekövetkező változások esetén a klímaosztályok eltolódása várható (4. ábra). Az erdészeti aszályossági index segítségével előre jelezhető, hogy a Bakony térségében a bázisidőszak szerinti bükkös klímájú területek jelentős része már egy enyhe nyári hőmérséklet-emelkedés (1. scenárió) hatására is átkerül a gyertyános-tölgyes klímába. A 2. scenárióban, amikor nagyobb mértékű nyári hőmérséklet-emelkedéssel és csekély mértékű nyári csapadékcsökkenéssel számolunk, a bükkös klímára jellemző meteorológiai viszonyok megszűnnek, annak területe teljes egészében a gyertyános-tölgyes klímájúvá alakul, az eddigi gyertyános-tölgyes



4. ábra: Fatermési csoportok megoszlása a klímaosztályokban a bázisidőszak (1961–1990), valamint a két klímaváltozási forgatókönyv esetén

Figure 4: Breakdown of forest yield groups in the climate classes, in the case of the base period (1961–1990) and the two climate change scenarios

gyes klímából pedig annak mintegy felét a kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma fogja uralni. Ezzel együtt – még akkor is, ha a talajok időközben nem változnak – a faállományok fatermőképességében csökkenő tendenciák bekövetkezése valószínűsíthető, azaz a jó fatermési csoport területarányának csökkenésére és a gyenge fatermésű faállományok arányának növekedésére kell számítani.

A vizsgált erdészeti tájak klímajelző fafajainak hozammutatói és azok változása

A négy klímajelző fafajra (bükk: B, cser: CS, gyertyán: GY, kocsánytalan tölgy: KTT) fatermési osztályonként (FTO) kiszámoltuk a fajlagos korszaki jövedelmet és az örökös járadékot (3. táblázat). Az adatokból egyértelműen látszik, hogy a jó növekedésű állományok (I. és II. fatermési osztály) hozamai jóval magasabbak a bükknél és a kocsánytalan tölgynél, mint a csernél és a gyertyánál. Ez a különbség fokozatosan csökken a kedvezőtlenebb ökológiai adottságok irányába haladva, a bükknél erősebben, mint a kocsánytalan tölgynél. Az eddigi erdészeti kutatások alapján mondhatjuk, hogy az utolsó két (V. és VI.) fatermési osztályba tartozó faállományok már nem jövedelmezőek, a kocsánytalan tölgynél alig rentábilis a gazdálkodás.

3. táblázat: A klímajelző fajokra vonatkozó hozam (h)- és örökös járadék (r)-értékek fatermési osztályonként (Marosi és mtsai 2005)
Table 3: Yield (h) and forest rent (r) values of forest yield classes for each climate indicator tree species (Marosi et al. 2005)

Fatermési osztályok	KTT		CS		B		GY	
	h	r	h	r	h	r	h	r
	eFt/ha/év							
I.	129	36	62	23	129	34	55	18
II.	108	32	53	19	108	30	46	15
III.	83	25	42	16	77	23	37	13
IV.	68	22	35	15	62	20	29	11
V.	51	19	25	11	43	14	21	9
VI.	37	14	19	9	29	11	16	7

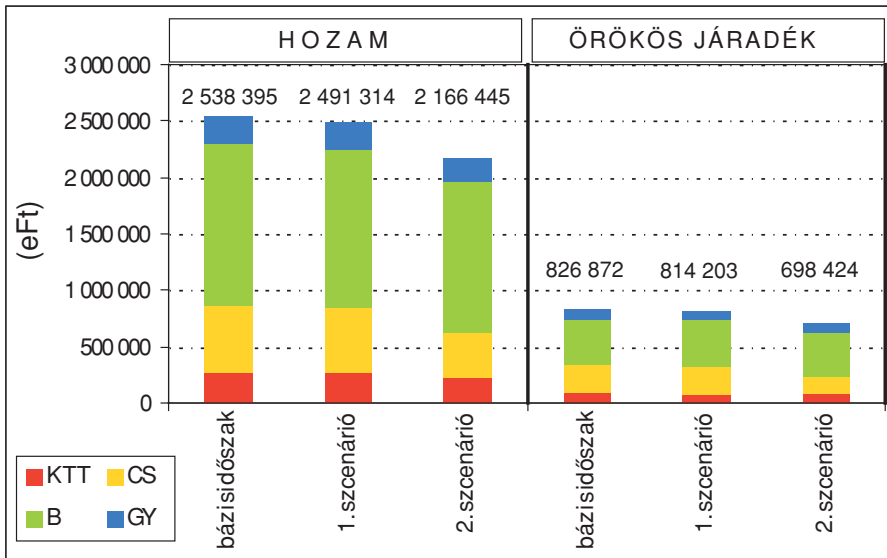
A klímajelző fajokra vonatkozóan a feltételezett klímaváltozás várható gazdasági hatását a fatermési osztályokra megadott hozam- és örökös járadék-értékekre támaszkodva mutatjuk be, a bakonyi erdészeti tájak mintegy 45 000 ha-os területi adatai alapján. Ez a terület közel akkora, mint egy átlagos állami erdészeti részvénytársaság. A klímaváltozás rontja az erdőterület fatermőképességét. Ez a gyakorlatban a FTO eddigi arányainak a változásában jelentkezik, csökken a jó, és nő a gyengébb növekedésű területek aránya. Így értelemszerűen az elérhető hozam is kisebb lesz. A számításoknál jelen munkánkban nem foglalkoztunk azzal az esettel, amikor az ökológiai változás mértéke már a fajajcsere elvégzését indokolná. Természetesen ekkor, a költségek erőteljesebb növekedése miatt a fatermesztés jövedelmezősége – fafajtól és technológiától függetlenül – a most bemutatottnál is nagyobb lehet.

Az 1. scenárió esetében, amely szerényebb változást jelent, a négy fafajnál a klímaváltozás hatására az éves hozam és az örökös járadék is 2%-kal lesz alacsonyabb (4. táblázat). A hozamcsökkenés két okra vezethető vissza. Egyrészt kisebb lesz a kitermelhető fatérfogat, másrészt alacsonyabb lesz az értékesebb választékok aránya. A fajlagos költségek csak minimális mértékben változnak, így a hozam évi 47 millió Ft-ra tehető csökkenése szinte teljes egészében az üzemi nyereségben jelentkezik (5. ábra). Tekintve az erdőgazdálkodás néhány százalékos nyereségrátáját, már ez a változás is érzékeny veszteséget jelent. Az egyes fajok egymástól eltérő hozamcsökkenést mutatnak. A négy fafaj átlagát a KTT és a GY meghaladja, a B és a CS pedig az alatt marad.

4. táblázat: A klímaszcenáriók alapján számított hozam (Δh)- és örökös járadék (Δr)-értékek relatív változása a bázisidőszakhoz viszonyítva

Table 4: Change of yield (Δh) and forest rent (Δr) values in the case of climate scenarios in relation to the base period

Szcenárió	KTT		CS		B		GY		Összesen	
	Δh	Δr	Δh	Δr	Δh	Δr	Δh	Δr	Δh	Δr
1.	-4%	-3%	-2%	-2%	-1%	-1%	-5%	-3%	-2%	-2%
2.	-18%	-14%	-33%	-31%	-6%	-5%	-19%	-14%	-15%	-14%



5. ábra: A hozam- és örökös járadék-értékek nagysága a bázisidőszakban és a klímaszcenáriók által jellemzett új helyzetben

Figure 5: Yield and forest rent values in the base period and in the new situation marked by climate scenarios

A nagyobb mértékű klímaváltozás (2. szcenárió) már jelentősebb csökkenést okoz. A négy fajfaj összességében a hozam 15%-kal, az örökös járadék pedig 14%-kal lesz alacsonyabb (4. táblázat). Így az évi 372 millió Ft hozamkiesés már az erdőgazdálkodás eredményességét is megkérdőjelezheti (5. ábra). A négy fajfaj ebben az esetben is különböző mértékben reagál a változásra. A legnagyobb mértékű hozamkiesés a CS esetében figyelhető meg (-33%), a legszerényebb pedig a B-nél (-6%). Ennek magyarázata az, hogy az egyes klímakategóriákban a fatermési osztályok megoszlása nagyobb differenciálódást mutat a csernél, mint a büknél. A fajfajok értékaránya hosszú távon is viszonylag stabil. Így a jövőbeni változások arányát is jól mutatják a 2005. év bázisán elvégzett számítások.

A Bakony erdészeti tájaira elvégzett jövedelmezőségi számítások tehát azt mutatják, hogy a klímaváltozás várható negatív ökológiai hatásai igen nagy veszélyt jelenthetnek az erdőgazdálkodásra. Az erdők fenntartását szinte kizárólag a piacon értékesíthető fatermékek hozama biztosítja. Amennyiben a hozamok a bemutatott módon csökkennek, és az erdőgazdálkodó számára más finanszírozási források nem nyílnak meg, akkor az erdők tartamos fenntartása a távolabbi jövőben kétségessé válik.

ÖSSZEFOGLALÁS

A klímaváltozás hatása nemcsak az erdőterületek ökológiai viszonyait, hanem az erdőgazdálkodás jövődelmezőségét is befolyásolja. A bakonyi erdészeti tájakban (Magas-, Déli- és Keleti-Bakony) tenyésző klímajelző fajok esetében az alábbi változások prognosztizálhatók két klímaváltozási forgatókönyv (1. és 2. scenárió) alapján.

A 30 éves (1961–1990) bázisidőszakra kiszámított átlagos erdészeti aszályossági index-értéke (FAI érték) a bakonyi erdészeti tájak összességére 5,09, amely a gyertyános-tölgyes klíma kedvezőbb állapotára jellemző érték. A tájcsoport 36%-án a bükkös klíma, 57%-án a gyertyános-tölgyes klíma, míg 7%-án a kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma dominál (1. ábra).

Az 1. scenárió alapján az erdészeti aszályossági index értékének változása kis mértékű, továbbra is általában a gyertyános-tölgyes klíma fog uralkodni a tájak területének nagy részén (FAI: 5,37). Bükkös klíma már csak a Magas-Bakony 35%-án marad meg, a Déli- és Keleti-Bakonyból pedig teljesen eltűnik.

A 2. scenárió alapján (FAI: 6,05) viszont jelentősen növekszik a kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma területe, amely a Keleti-Bakonyban uralkodóvá válik, a Magas-Bakonyban a gyertyános-tölgyes klíma lesz a jellemző, a Déli-Bakonyban pedig a gyertyános-tölgyes és a kocsánytalan tölgyes klíma egyforma súlyt képvisel.

A fatermőképességet tekintve a Magas-Bakony rendelkezik a legkedvezőbb adottságokkal (2. ábra). Ebben a tájban a jó növekedésű faállományok részaránya a legnagyobb, szemben a Bakony másik két tájával, ahol a jó fatermőképességű erdők képviselik a legkisebb arányt. A Keleti-Bakonyban a terület kétharmadán gyenge növekedésűek az erdők.

A klímaosztályonkénti értékelés alapján a bükköstől a kocsánytalan tölgyes klíma felé haladva a jó növekedésű állományok aránya egyértelműen csökken mind a négy klímajelző faj esetében (3. ábra). Ugyanakkor a gyenge fatermési tulajdonságokkal rendelkező állományok területaránya jelentősen növekszik a gyertyán, a kocsánytalan tölgy és a cser esetében.

A klímában bekövetkező változások esetén a klímaosztályok eltolódása várható, amivel együtt – még akkor is, ha a talajok időközben nem változnak – a faállományok fatermőképessége romlani fog. Azaz a jó fatermési csoport területarányának csökkenésére és a gyenge fatermésű faállományok arányának növekedésére kell számítani.

A két scenárió esetében a négy klímajelző fafajnál az éves hozam és az örökös járadék is alacsonyabb lesz a bázisidőszakhoz viszonyítva (4. táblázat). A hozamcsökkenés két okra vezethető vissza. Egyrészt kisebb lesz a kitermelhető fatérfogat, másrészt alacsonyabb lesz az értékeesebb választékok aránya.

A négy faj különböző mértékben reagál a változásra. A 2. scenárió esetében a legnagyobb mértékű hozamkiesés a csernél figyelhető meg (-33%), a legszerényebb pedig a bükknél (-6%).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az OTKA 80305 és 80335, továbbá a TÁMOP-4.2.2/08/1-2008-0020 projektek keretében valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bartholy J. 2006: A globális éghajlatváltozás valószínűsíthető klimatikus következményei Magyarországon. „AGRO-21” Füzetek, 48: 12–18.
- Bartholy J.; Pongrácz R. és Torma Cs. 2010: A Kárpát-medencében 2021–2050-re várható regionális éghajlatváltozás RegCM-szimulációk alapján. „KLÍMA-21” Füzetek, 60: 3–12.



- Berki, I.; Rasztoivits, E.; Móricz, N. and Mátyás, Cs. 2009: Determination of the drought tolerance limit of beech forests and forecasting their future distribution in Hungary. *Cereal Research Communications*, 37: 613–616.
- Czúcz, B.; Gálhidy, L. and Mátyás, Cs. 2010: Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Annals of Forest Science*, 68: 99–108.
- Csóka Gy.; Koltay A.; Hirka A. és Janik G. 2007: Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyeseink és bükköseink egészségi állapotára. In: Mátyás Cs. és Vig P. (eds): *Erdő és klíma V. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron*. 229–239.
- Csóka Gy.; Koltay A.; Hirka A. és Janik G. 2009: Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyeseink egészségi állapotára. „KLÍMA-21” Füzetek, 57: 64–73.
- Führer E. 1995: Az időjárás változásának hatása az erdők fatermő képességére és egészségi állapotára. *Erdészeti Lapok*, 130: 176–178.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. „KLÍMA-21” Füzetek, 61: 98–107.
- Führer, E. und Járó, Z. 1992: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Waldbestände Ungarns. *Österreichische Forstzeitung*, 9: 25–27.
- Führer, E.; Horváth, L.; Jagodics, A.; Machon, A. and Szabados, I. 2011: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás*. 115 (3): 205–216.
- Gálos, B.; Lorenz, Ph. and Jacob, D. 2007: Will dry events occur more often in Hungary in the future? *Environmental Research Letters* 2 (3): 034006 (9pp)
- Halász G. (ed) 2006: Magyarország erdészeti tájai. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest.
- Kolozs L.; Simon T.; Solti Gy. és Stuller Z. 2009: Faállományok növekedésének megfigyelése. In: Kolozs L. (ed): *Erdővédelmi Mérő- és Megfigyelő Rendszer 1988–2008. MGSZH Központi Erdészeti Igazgatóság, Budapest*. 118–148.
- Láng I.; Csete L. és Jolánkai M. (eds) 2007: A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés. Szaktudás Kiadó, Budapest.
- Manninger M. 2004: Erdei fák éves és korszaki növekedésmenete és kapcsolódása egyes ökológiai tényezőkhöz. In: Mátyás Cs. és Vig P. (eds): *Erdő és klíma IV. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron*. 151–162.
- Márkus L. és Mészáros K. 2000: Erdőérték-számítás. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
- Marosi Gy.; Solymos R.; Rédei K.; Führer E.; Molnár S.; Pásztory Z. és Juhász I. 2005: A fatermesztés és faanyaghasznosítás modelljeinek kidolgozása célállományonként. In: Molnár S. (ed): *Erdő-fa hasznosítás Magyarországon. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Fajpári Mérnöki Kar, Sopron*. 377–386.
- Mátyás, Cs. 2010: Forecasts needed for retreating forests. *Nature*, 464 (7293): 1271.
- Mátyás, Cs. és Czímber, K. 2000: Zonális erdőtakaró mezoklíma szintű modellezése: lehetőségek a klímaváltozás hatásainak előrejelzésére. In: Tar K. (ed): *Erdő és Klíma III. Debreceni Egyetem, TTK, Debrecen*. 83–97.
- Mátyás Cs. és Czímber K. 2004: A zonális alsó erdőhatás klímaérzékenysége Magyarországon – előzetes eredmények. In: Mátyás Cs. és Vig P. (eds): *Erdő és klíma IV. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron*. 35–44.
- Mátyás Cs.; Führer E.; Berki I.; Csóka Gy.; Drüszler Á.; Lakatos F.; Móricz N.; Rasztoivits E.; Somogyi Z.; Veperdi G.; Vig P. és Gálos B. 2010: Erdők a szárazsági határon. „KLÍMA-21” Füzetek, 61: 84–97.
- MGSZH 2008: Országos erdőadattár 2006. 01. 01. állapot. MGSZH Központ Erdészeti Igazgatóság digitális kiadványa (CD-ROM)
- Molnár M. és Lakatos F. 2007: A bükkpusztulás Zala megyében – klímaváltozás? In: Mátyás Cs. és Vig P. (eds): *Erdő és klíma V. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron*. 257–267.
- Solymos R. 2009: A klímaváltozás hatása az erdők fanövedékére. „Klíma-21” Füzetek, 56: 43–47.
- Somogyi Z. 2009: A klíma, a klímaváltozás és a fanövedekés néhány összefüggése. „Klíma-21” Füzetek, 56: 48–56.

*Érkezett: 2011. május 20.
Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.*