

AZ AVAR ÉS A HUMUSZTAKARÓ VIZSGÁLATA ZALAI BÜKKÖSÖKBEN ÖSSZEFÜGGÉSBEN AZ IDŐJÁRÁSSAL

Jagodics Anikó és Führer Ernő

Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet

Ökológiai és Erdőművelési Osztály

Kivonat

Bükkös fatermési kísérleti parcellákban vizsgáltuk az avar- és a humusztakaró szerves anyagának a mennyiségét, szén- és nitrogénkészletének időbeli változását, valamint az időjárási viszonyokkal való összefüggését 2006-ban, 2010-ben és 2013-ban gyűjtött minták alapján. A mért szervesanyag-tömeg a 2006-os minták esetében volt a legnagyobb. A humusztakaró mennyisége 2010-re nagymértékben lecsökkent, majd 2013-ra tovább fogyott. Ennek megfelelően csökkent a szén- és nitrogénkészlet is. A humusz C/N aránya mérsékelt növekedést mutatott az évek előrehaladtával, azonban az értékek minden évben kedvező mull típusú humuszformára utalnak. Mind a mennyiségi, mind a minőségi változások összefüggésbe hozhatók a 2007–2010 közötti időszak január–február–március hónapjainak a sokéves átlagnál enyhébb és csapadékosabb időjárásával. A 2013-ban lombhullás előtt és után gyűjtött minták alapján arra következtettünk, hogy akár két hónap alatt is mintegy 27%-os csökkenés jelentkezhet a humusz szerves anyagának a mennyiségében. A sokéves átlaghoz képest kimutatott magasabb októberi-novemberi átlaghőmérséklet és csapadék-összeg segíthette elő a lebomlási folyamatok felerősödése következtében előállt szervesanyag-csökkenést.

Kulcsszavak: *Fagus sylvatica*, avar, humusz, szén- és nitrogénkészlet, klíma

INVESTIGATIONS ON LEAF LITTER AND HUMUS LAYERS OF BEECH FORESTS IN ZALA COUNTY (HUNGARY) IN RELATION TO WEATHER CONDITIONS

Abstract

The amount of organic matter in leaf litter and humus layers, the changes in their carbon and nitrogen stocks over time, and their correlation with weather conditions were investigated in experimental plots of European beech (*Fagus sylvatica*) in Zala County, based on samples collected in 2006, 2010 and 2013. The mass of organic matter was the highest in the samples of 2006. The amount of humus decreased considerably by 2010 and then reduced further by 2013. Accordingly, the carbon and nitrogen stocks also decreased. The C/N ratio of humus showed a moderate increase over the years; however, the values indicated a favourable mull-type humus form every year. These changes in quantity and quality can be related to the weather from January to March between 2007 and 2010 which were milder and wetter than the long-term average. Based on the samples collected before and after the autumn litterfall in 2013, we concluded that a 27% decrease in the amount of humus can occur even within two months. Compared to the long-term average, the higher average temperature and precipitation sum of October–November may have contributed to the decrease in organic matter as a result of the intensification of decomposition processes.

Keywords: *Fagus sylvatica*, leaf litter, humus, carbon and nitrogen stock, climate

Levelező szerző/Correspondence:

Jagodics Anikó, 9400 Sopron, Paprét 17.; e-mail: jagodics.aniko@uni-sopron.hu



BEVEZETÉS

Az erdei ökoszisztémákban az avertakaróból (fák elhalt levelei, ágai, valamint egyéb részei) képződő humusz és a belőle felszabaduló tápanyagok az erdőtalaj termékenységének egyik igen fontos forrása (Járó 1958, Bidló & Führer 2022). A lebomlási folyamatot elsősorban az időjárás, az avar kémiai összetétele és a talajban élő szervezetek befolyásolják (Coûteaux et al. 1995, Aerts 1997, Fierer et al. 2003). A hőmérsékleti körülmények és a nedvességi viszonyok lassíthatják vagy felgyorsíthatják a szerves anyagok lebomlását (Coûteaux et al. 2002, Davidson & Janssens 2006). Sajnos az utóbbi évtizedekben, főleg a klímaváltozás (felmelegedés, szárazodás) miatt megfigyelhető (Gálos & Vig 2014, Gálos et al. 2015), hogy az avar- és a humusztakaró szerves anyagának mennyisége és összetétele gyorsan módosulhat. E két szintben pl. a szénkészlet nagysága magyarországi mérések alapján elérheti a 10–15 t/ha értéket (Führer 2004, Führer & Jagodics 2009, Bidló 2014, Führer 2014), ami az erdő éves szénforgalmában jelentős tételnek számít. Az ásványi talaj szénkészlet-változásának folyamata nehezen modellezhető (passzív C-pools), az avar- és a humusztakaróban megkötött szerves anyag (aktív C-pools) azonban gyorsabban alakul át, és a folyamat iránya és mértéke pontosabban becsülhető (McGill 1996). A hőmérséklet változása a kétféle szénkészletre sokszor ellentétesen hat, ezért az eddig kapott eredmények is gyakran ellentmondásosak (Giardina & Ryan 2000, Melillo et al. 2002, Fierer et al. 2003, Knorr et al. 2005).

Klímajelző fajok közül a bükk (*Fagus sylvatica* L.) klímaigénye a legkifejezettebb, a száraz időszakokra érzékenyen reagál (Járó & Mendlik 1986), és ekkor növekedésében, valamint egészségi állapotában is romlás következik be. Zalában, elsősorban a Göcseji-dombságban a bükkösök kiváló növekedésű, értékes állományokat alkotnak (Mendlik & Birck 1968), ahol elterjedési területük határához közeli termőhelyi körülmények érvényesülnek (Berki et al. 2007, Mátyás et al. 2010, Czucz et al. 2013). Ezért állományait már rövidebb, néhány évig tartó száraz periódusok is igen kedvezőtlenül érinthetik, ennek nyomán hirtelen egészségi állapotromlás, fapusztulás (Csóka et al. 2009, Molnár & Lakatos 2009), vagyis jelentős károk (Góber 2005) fordulhatnak elő.

Jelen kutatásban zalai bükkösökben vizsgáljuk az avar- és humusztakarót, azzal a céllal, hogy megállapítsuk az ebben tárolt szerves anyag mennyiségét és összetételét, valamint, hogy feltárjuk ezek időbeli változásainak időjárási viszonyokkal való összefüggéseit.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kísérleti területek

A kutatást a SOE Erdészeti Tudományos Intézet által fenntartott, állandósított bükk hosszúléjárátú tartamkísérleti területeken végeztük. Az erdőnevelési és faterméstani kutatásokat szolgáló országos tartamkísérleti hálózatot az 1960-as években kezdték kitűzni (Birck et al. 1962, Bondor 1988, Kollár et al. 2018, Kollár & Borovics 2021). Az ezekből származó faállományadatok szolgálták a hazai erdőtervezésben alkalmazott fatermési függvények alapjául, melyeket a felvételezési adatok felhasználásával szerkesztettek meg (Kollár 2022). Emellett a parcellák adatai erdőnevelési modell-táblák kidolgozására is lehetőséget biztosítottak. A ma is meglévő bükkös parcellákban rendszeresen – öt évente – elvégzik a jelölések megújítását és a faállomány felvételezését. Jelen munkában

1. táblázat: Kísérleti parcellák fatermési adatai 2006-ban
Table 1: Stand and yield data of the experimental plots in 2006

Parcella azonosító	Erdőrészlet	Kor (év)	Átlagmagasság (m)	Átlagos mellmagassági átmérő (cm)	Törzsszám (db/ha)	Fatérfogat (m ³ /ha)
317	Zalacsány 3/C	116	38	49	170	722
318/1	Zalaújlak 3/B	78	30	33	548	771
318/2		78	33	35	394	703
320	Valkonya 1/B	114	41	49	195	875
325	Tormafölde 11/D	186	47	68	125	1364
332	Bucsuta 24/C	122	43	53	200	1115
334/1	Oltárc 5/C	86	39	41	306	882
334/2		86	38	42	269	792
337/1	Kistolmács 12/B	91	35	38	364	803
337/2		91	35	43	281	828
338/1	Zajk 10/B	95	36	38	417	991
338/2		95	41	44	288	981

Avar- és humusztakaró mintavételezése és elemzése

Az időjárási tényezők hatásainak értékeléséhez a 2006. és 2010. években télen, lombhullás után, valamint 2013-ban lombhullás előtt és után gyűjtött minták eredményeit dolgoztuk fel.

A kiválasztott faállományok parcelláiban egy rögzített mintapont és attól sik területen égtájak, lejtős területeken pedig a szintvonal és esésvonal irányában 5–5 méterre, összesen még négy pont került kijelölésre. Egy 50 cm × 50 cm-es keret segítségével a keret teljes területéről szintenként külön-külön begyűjtöttük kézzel az avart és talajmintavevő lapáttal a már humifikálódott szerves anyagot (Jagodics & Führer 2023). Az egyes lebomlási szintek elkülönítésének definiálása és módja a német Talajrendszertani Munkacsoport (Arbeitskreis für Bodensystematik 1985) iránymutatása alapján történt:

1. bomlatlan avartakaró (L): a talaj felszínéről gyűjtött avar, a növényi részek még teljesen egyben vannak, jól felismerhetők.
2. bomlásban lévő avartakaró (F): a növényi részek már dezintegrálódtak, de eredeti szerkezetük még felismerhető, a fajok azonban nem. Szerkezet nélküli finomanyagok már kisebb-nagyobb (30–70%) mennyiségben előfordulnak. A különböző növényi részek sokszor összeragadtak, akár gombafonalakkal is átszöttek.
3. humusztakaró (H): intenzíven bomló, sötétbarna-fekete színű, túlnyomórészt (>70%) finom, szerkezet nélküli szerves anyag. A humusz azon része tartozik ebbe a kategóriába, amely nem a gyökérszóna ásványi talajszerkezetében oszlik el, hanem az, ami a legfelső ásványi talajszerkezetet tartósan borítja (Sponagel et al. 2005).

A nejlonzacskókba felszedett mintákat telephelyre szállítottuk, és szárítás céljából fedett helyen kiterítve tároltuk. Ezt követően az egyes szintek pontosabb elkülönítése végett további, növényi részek és fafajok szerinti osztályozást, válogatást és szitálást végeztünk. A fenti módon szétválogatott

minták tömegmérése és jegyzőkönyvezése után laboratóriumi vizsgálatokra való előkészítés és darálás következett. Laboratóriumi mérések során meghatároztuk a minták abszolút száraz tömegét (szárazanyag %), valamint EA3000 CNS elemanalizátorral (EuroVector) a szén- és nitrogéntartalmát (m/m %). Az eredményekből a tömegek figyelembevételével az egy hektárra számított szén- és nitrogénkészletek határozhatók meg mintapontonként. A kiértékelést a parcellánkénti öt mintavételi hely adatainak átlagolásával és szintenkénti összesítésével végeztük.

Klímaadatok leválogatása és feldolgoása

A HungaroMet Nonprofit Zrt. által létrehozott és üzemeltetett Meteorológiai Adattárból (odp.met.hu, HungaroMet) a rácspontri napi adatsorok közül 11 zalai pont (34, 48, 49, 62, 63, 78, 79, 95, 97, 98, 115 számú pontok) csapadék és átlaghőmérséklet adatait válogattuk le az 1971–2020 időszakra, azokra a területekre, ahol a vizsgált parcellák elhelyezkednek (1. ábra). Az adatokból havonkénti összesítést készítettünk, ez alapján időszakonként, valamint havonként értékeltük a terület klímáját, a vizsgálat témájából adódóan különös tekintettel az őszi és téli időszakokra.

Statisztikai kiértékelés

A meteorológiai adatok évenkénti alakulása alapján vizsgáltuk az éves átlaghőmérséklet és csapadékösszeg, valamint az Ellenberg-index (Ellenberg 1988) és az erdészeti szárazsági index (Führer 2010, Führer et al. 2011, Führer 2018) 50 évre vonatkozó tendenciáit. A különböző időpontokra összesített és átlagolt avar- és humuszminták mennyiségi eltéréseinek kimutatására t-próbát alkalmaztunk. Szórás- és átlagos eltérés-elemzések segítségével egyrészt vizsgáltuk a különböző években, másrészt a lombhullás előtt és után gyűjtött minták szervesanyag-mennyiségei és a klímadatok közötti összefüggést.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A terület klímaértékelése

Zalára csapadékos, meleg nyarú, enyhe telű, viszonylag kiegyenlített éghajlat jellemző. A szubmediterrán és a szubatlanti ciklonok csapadéka is érinti, emiatt a Göcseji-dombság erdészeti tájrészlet déli fele a bükkösök számára még kedvező klímaadottságokkal rendelkezik (Führer et al. 2022a), ezért hazánkban a legnagyobb élőfakészletű és fatermőképességű bükkösök élőhelye. Kelet felé haladva az atlanti klímahatás egyre gyengül, melyet a csökkenő csapadékadatok jól mutatnak. A Kelet-zalai-lőszyvidék tájrészlet termőhelyi-erdészeti szempontból elkülönül a Göcseji-dombságtól (Führer et al. 2022b). A Göcseji-dombság kísérleti területeihez a meteorológiai adatbázis 34, 48, 49, 62, 63, 78, 79 számú, a Kelet-zalai-lőszyvidékhez tartozó parcellák esetében pedig a 95, 97, 98 és 115 számú rácsponjtjainak adatait vettük számításba.

Az adatokból (2. táblázat) megállapítható, hogy az éves átlaghőmérséklet 10 °C feletti, a legmelegebb hónap, a július átlaghőmérséklete túllépi a 20 °C-ot, a leghidegebb a január, átlaga -0,4 °C.

2. táblázat: Éghajlati paraméterek átlagai az 1971–2020 időszakban
(Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással)

Table 2: Average climatic parameters for the period 1971–2020
(Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged for each area and season)

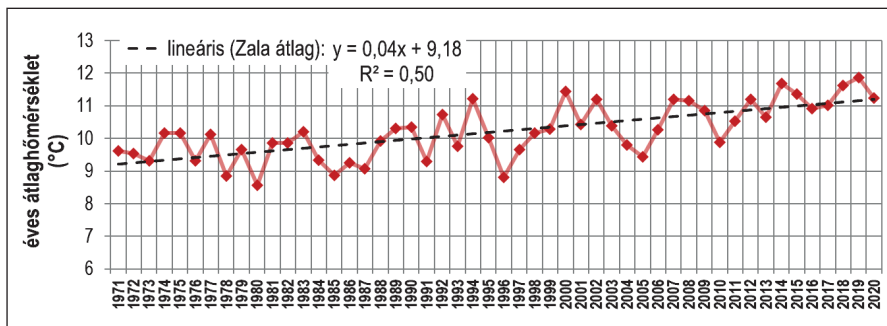
Hónap/ időszak/ index	Zalai átlag		48a. Göcseji-dombság		52a. Kelet-zalai-löszvidék	
	hőmérséklet °C	csapadék mm	hőmérséklet °C	csapadék mm	hőmérséklet °C	csapadék mm
Január	-0,4	34	-0,3	34	-0,4	33
Február	1,5	41	1,5	42	1,4	39
Március	5,8	41	5,7	42	6,1	39
Április	10,5	50	10,4	51	10,7	47
Május	15,2	70	15,0	72	15,4	66
Június	18,5	83	18,4	86	18,8	78
Július	20,3	84	20,2	87	20,6	78
Augusztus	19,7	76	19,5	78	19,9	73
Szeptember	15,2	74	15,1	78	15,5	68
Október	10,2	61	10,2	64	10,4	55
November	4,9	62	4,9	63	5,0	58
December	0,8	49	0,8	50	0,9	47
Év	10,2	723	10,1	747	10,4	681
Tavaszi	10,5	160	10,4	166	10,7	151
Nyári	19,5	243	19,4	251	19,8	229
Őszi	10,1	197	10,0	205	10,3	182
Téli	0,7	123	0,7	126	0,6	119
Nyugalmi id.	2,6	226	2,5	232	3,5	216
Tenyészd.	15,7	497	15,6	516	16,3	465
FAI	5,05		4,85		5,44	
EQ	28,1		27,0		30,3	

Kelet-Zalában márciustól szeptemberig 0,3–0,4 °C-kal magasabbak a hőmérsékletek, azonban télen hasonlóak az értékek, mint a Göcseji-dombságban. Az éves csapadékösszeg sokéves átlaga 723 mm, viszont a Kelet-zalai-löszvidéken jóval kevesebb (681 mm). A csapadékösszeg minden időszakban kevesebb, mint a Göcseji-dombságban, de a tenyészdőszakban (–10%) arányosan nagyobb az eltérés, mint a nyugalmi időszakban (–7%).

Az éghajlati viszonyok változásában megfigyelt tendenciák miatt szükséges, hogy a klímaszenárióknak megfelelő ágazati prognózisok kidolgozásához megbízhatóan modellezhető és előrejelezhető paramétereket alkalmazzunk a klímaértékelésnél, illetőleg klímaosztályozásnál, ilyen például az erdészeti szárazsági index (FAI). A FAI mindkét tájrészletben meghaladja a bükkös klímaosztály felső határértékét (FAI_B: 4,750), azonban amíg a Göcseji-dombságban átlaga (FAI=4,85) még közel esik a bükkös és a gyertyános-tölgyes klíma határértékéhez, addig a Kelet-zalai-löszvidékre számított érték (FAI=5,44) már egyértelmű gyertyános-tölgyes klímát (FAI_{GYT}: 4,751–6,000) jelez (2. táblázat). Az Ellenberg-index (EQ) is hasonló tendenciát mutat, értéke a Göcseji-dombságban 27,

Kelet-Zalában viszont már 30,3, amely a bükk elterjedési határát jelentő értéket meghaladja (Jahn 1991, Czúcz et al. 2013).

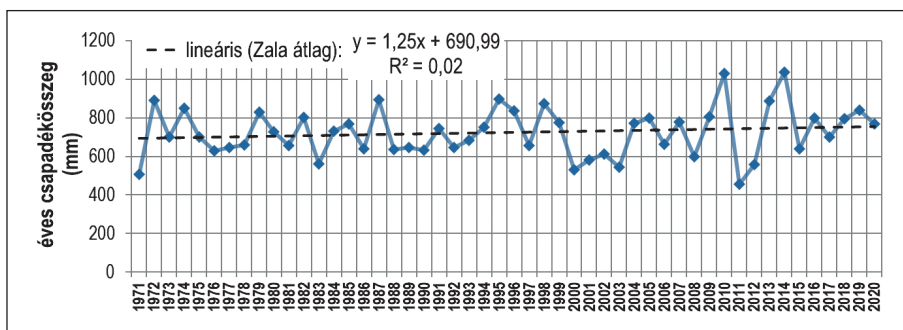
A vizsgált 50 éves időszakban az összes rácspont átlagára illesztett trendek arra utalnak, hogy amíg az éves átlaghőmérséklet (2. ábra) egyértelműen, szignifikánsan növekszik, addig az éves csapadék (3. ábra) trendje csak enyhén emelkedik. A csapadék esetében a 2008–2015 időszakban igen nagy ingadozások figyelhetők meg. A FAI évenkénti alakulása nem mutat szignifikánsan növekvő változást, és az EQ évenkénti értékei is a FAI-hoz hasonló lefutásúak. Mindkét mutató emelkedése csak kismértékű változásnak tekinthető.



2. ábra: Éves átlaghőmérséklet az 1971–2020 időszakban a vizsgált zalai rácspontok átlagára (Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással)

Figure 2: Annual temperature (°C) from 1971 to 2020 for the average of climate gridpoint data at the studied area in Zala County (Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged for the area)

Összességében megállapítható, hogy az integrált mutatószám, a FAI-értékek alapján a klíma a bükkös és a gyertyános-tölgyes klíma átmenetéből is egyre inkább a gyertyános-tölgyes klímába tolódik, a bükk természetése számára valamennyi zalai területen rosszabbodik. A jelentős mértékű hőmérséklet-emelkedés kedvezőtlen hatását a csapadék nagysága mérsékelni már nem képes. A bükkös klímára jellemző feltételek egyre inkább hiányoznak, mindez pedig az érintett erdészeti tájak erdőgazdálkodásának újragondolását teszi szükségessé.



3. ábra: Éves csapadékösszeg az 1971–2020 időszakban a vizsgált zalai rácspontok átlagára (Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással)

Figure 3: Annual precipitation (mm) from 1971 to 2020 for the average of climate gridpoint data at the studied area in Zala County (Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged for the area)

Három különböző év lombhullás utáni avar- és humusztakaró mintáinak értékelése

Avar- és a humusztakaró szerves anyag mennyisége

Az egy hektárra számított eredményeket szintenként (bomlatlan avartakaró: L, bomló avartakaró: F, humusztakaró: H) összesítve, a parcellák átlagában közöljük (3. táblázat). A szervesanyag-tömeg a 2006-os minták esetében volt a legnagyobb, mindhárom szint esetében. A humusztakaró szárazanyagban kifejezett átlagos mennyisége elérte a 72,3 t/ha-t, a bomló avartakaróé a 15,0 t/ha, a bomlatlan avar tömege pedig 5,8 t/ha volt. Az összes szerves anyagon (L+F+H) belül a bomlatlan és a bomló avarszint, valamint a humusztakaró szervesanyag-megoszlása: szervesanyag-megoszlása: L: 7%, F: 16% és H: 77%. 2010-ben a humusztakaró mennyisége a 2006-os értékhez viszonyítva drasztikusan, 56%-kal, a bomló avaré 41%-kal, és a bomlatlan avar tömege is jelentősen, 51%-kal csökkent. Az eltérések 1%-os szinten szignifikánsak. Azonban nemcsak a mennyiségek, hanem a szintenkénti arányok is változtak (L: 9%, F: 21% és H: 70%), főleg a humusztakaró szervesanyag-tömegének rovására. 2013-ban a bomlatlan és a bomló avartakaró mennyisége valamelyest növekedett, a humuszé viszont tovább csökkent, 29,2-t/ha-ról 22,9 t/ha-ra, ezért az egyes szintek arányai is hasonlóan változtak: L: 11%, F: 30% és H: 59%. Azaz a különböző időpontokban és szintekben gyűjtött minták szervesanyag-tömegei nemcsak mennyiségi értelemben térnek el egymástól, hanem a lebomlási folyamatoktól függően szintenkénti arányaikban is megváltoznak.

3. táblázat: Három időpontban lombhullás után gyűjtött avar- és humuszminták szárazanyag-tömege (t/ha)
Table 3: Dry mass (t ha⁻¹) of leaf litter and humus in each plot according to the separated layers (L, F, H), based on the samples collected after autumn litterfall in three different years

Parcella	2006				2010				2013			
	L	F	H	L+F+H	L	F	H	L+F+H	L	F	H	L+F+H
317	5,08	16,70	75,46	97,24	5,26	10,68	28,17	44,11	3,69	21,27	25,73	50,69
318/1	6,17	13,75	55,79	75,71	3,49	6,66	32,99	43,15	3,98	7,95	22,92	34,84
318/2	7,16	17,38	79,23	103,77	2,63	6,47	40,47	49,57	4,09	8,08	24,71	36,88
320	6,43	15,81	66,78	89,02	3,19	8,05	14,93	26,17	4,95	8,79	30,03	43,78
325	6,42	13,65	85,71	105,78	5,34	9,96	42,28	57,58	4,68	9,91	29,07	43,66
332	6,41	17,54	85,14	109,10	3,10	9,06	14,37	26,53	4,46	10,93	22,78	38,17
334/1	6,27	16,71	53,36	76,34	4,20	9,25	11,56	25,01	5,22	9,36	19,05	33,63
334/2	4,98	13,70	70,06	88,73	3,68	8,29	26,31	38,28	5,00	9,97	20,59	35,56
337/1	5,57	13,59	76,29	95,45	4,27	9,10	37,79	51,16	4,14	13,87	15,51	33,51
337/2	4,70	12,17	81,09	97,96	4,02	10,18	36,20	50,41	4,04	15,30	24,09	43,43
338/1	5,63	15,33	75,21	96,16	4,87	9,32	32,57	46,77	4,52	10,76	23,83	39,10
338/2	5,24	13,88	63,07	82,18	3,25	8,39	33,12	44,76	4,06	12,11	17,05	33,22
átlag	5,84	15,02	72,27	93,12	3,94	8,78	29,23	41,96	4,40	11,53	22,95	38,87
szórás	0,75	1,78	10,69	10,97	0,88	1,29	10,47	10,80	0,48	3,79	4,38	5,45
arány (%)	7,00	16,00	77,00	100,00	9,00	21,00	70,00	100,00	11,00	30,00	59,00	100,00

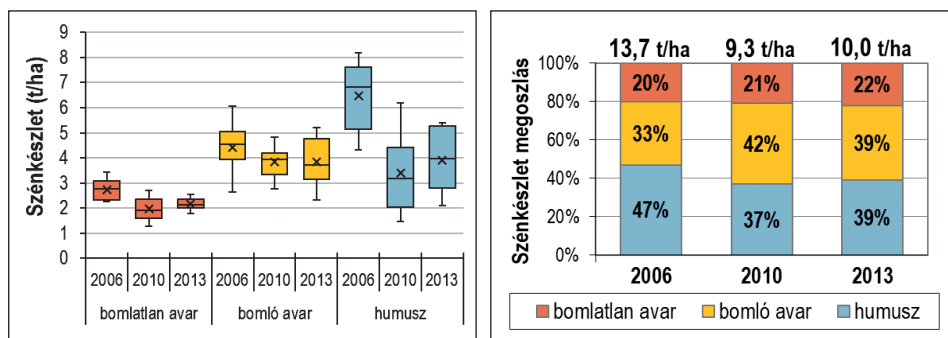
Érdekességként megemlítenéd, hogy a 2006. és 2013. évi mintavételezések esetében a parcellák humusztakarójának szervesanyag-tömegei közepes erősségű kapcsolatban állnak a faállományok korával ($r = 0,52$, ill. $0,55$), átmérőjével ($r = 0,50$, ill. $0,51$) és átlagnövedékével ($r = -0,45$, ill. $-0,61$). 2010-ben e kapcsolat nem igazolható, valószínűleg az igen gyors és drasztikus humuszle bomlásban szerepet játszó, parcellánként is eltérő sokféle tényező összhatásának köszönhetően. Az állományszerkezeti jellemzőkkel való kapcsolatot több közlemény alátámasztja, melyekben a szerzők összefüggést mutattak ki az avarprodukción és a faállományok kora, valamint átlagnövedéke között (Járó 1958, Matala et al. 2008, Hansen et al. 2009).

Szén- és nitrogénkészletek meghatározása

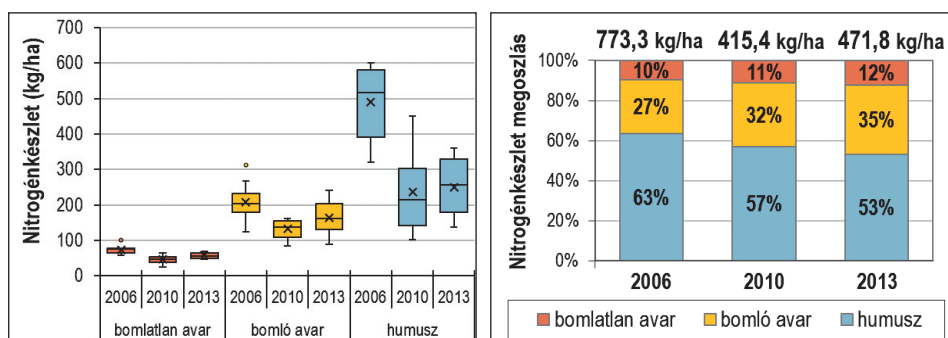
Az avar- és humusztakaró minőségi jellemzése érdekében megvizsgáltuk a minták kémiai összetételét, a szén és a nitrogén tömegszázalékát (koncentrációját), és ezen eredmények segítségével meghatároztuk az avar- és a humusztakaróban tárolt szén- és nitrogénkészletet. A bomlatlan avar esetében, amiben nemcsak egy adott évben elszáradt szerves anyag található, a parcelláktól függően 44% és 51% közötti szénkoncentrációkat mértünk. A lebomlási folyamat eredményeként a bomló avarban az egyes parcellák között az átlagok jobban különböznek, és már csak 30% és 47% közöttiek. A humusztakaró széntartalma nagy szórást mutat, értékei a parcelláktól függően 6% és 27% között alakulnak, ugyanakkor a vizsgálati (mintavételi) évek előrehaladtával a parcellák többségében az értékekben egy emelkedő tendencia figyelhető meg. A nitrogén koncentráció-értékei a bomlatlan avarban 1,03–1,43% között, a bomlóban 1,11–1,83% között, a humusztakaróban pedig 0,51–1,64% között ingadoztak parcelláktól függően. Az intenzív bomlási szakaszban a nitrogén-koncentráció emelkedik, majd a bomlási folyamat további előrehaladása és a szerves anyag fokozódó ásványosodása során csökken. Ez összhangban áll több kutatás eredményével, amelyek szintén rámutattak erre a folyamatra (Járó 1958, Gere & Hargitai 1971, Pántos et al. 1981, Portillo-Estrada et al. 2016). A parcellák nagyobb részében a nitrogén koncentrációja rendre emelkedik a vizsgálati évek előrehaladtával.

A parcellák átlagai (4. ábra) alapján az állapítható meg, hogy amíg 2006-ban az avar- és humusztakaró összes szénkészlete megközelítette a 14 t/ha-t, addig 2010-re annak nagysága 9 t/ha körülire esett vissza, amely 2013-ra nem változott jelentősen. Ez a nagymértékű fogyás a humusztakaró szénkészlet-csökkenésének (6,5 t/ha-ról 3,4 t/ha-ra) tulajdonítható, amely így 47,2%-kal lett kevesebb. A szignifikáns változás 2006/2007 tele és 2010/2011 tele között ment végbe. A szénkészletekre kapott értékek jól közelítik a hasonló módszerekkel végzett kutatások eredményeit (Führer & Jagodics 2009, Führer 2014).

A szénkészlet alakulásához hasonlóan változtak a nitrogénkészletek (5. ábra). Összességében és a különböző szintekben is a 2006. évi értékek jóval magasabbak a 2010. és 2013. évi értékeknél. 2006 telén összesen 773 kg/ha, míg 2010-ben 415 kg/ha, végül 2013-ban 472 kg/ha volt az avar- és humusztakaróban mért összes nitrogénkészlet. Mind a bomlatlan avar-, mind a bomló avar-, és főként a humusztakaró esetében is a nitrogénmennyiség csökkenése (1%-os szinten szignifikáns) figyelhető meg 2006 után, míg 2010 és 2013 között nem mutatkozott jelentősebb változás. A nitrogénkészletekre vonatkozó eredményeink az avar- és humusztakaró esetében vethetők össze más hazai kutatási eredményekkel. Egy gödöllői bükkös éves bomlatlan avar-tömegének (L) nitrogénkészlete tíz év átlagában 55,1 kg/ha volt (Járó 1990), míg farkasgyepűi bükkösökben a bomlatlan és bomló avarszintben (L+F) 199,8–271,8 kg/ha nitrogénkészletet mutattak ki (Pántos et al. 1981).



4. ábra: Három év lombhullás után gyűjtött mintáinak szénkészlete és annak megoszlása
 Figure 4: Carbon stocks (left) and percentages (right) of the separated layers, based on the samples collected after autumn litterfall in three different years



5. ábra: Három év lombhullás után gyűjtött mintáinak nitrogénkészlete és annak megoszlása
 Figure 5: Nitrogen stocks (left) and percentages (right) of the separated layers, based on the samples collected after autumn litterfall in three different years

A három mintavételezési időszakra meghatároztuk a humusztakaró szerves anyagának szén és nitrogén arányát (C/N), amivel jellemezni tudjuk a humusz típusát (nyers humusz, moder, mull). Az arány az adott közeg bioaktivitására jellemző tényező, egyben minősíti a termőhely termőképességét, és befolyásolja a faállományok fatermését, ill. növekedési viszonyait is. A humusztakaró átlagos C/N aránya 2006-ban 13,2, amely 2010-ben 14,4-re, majd 2013-ban 15,6-re emelkedett. Ez önmagában kedvezőtlen folyamatot jelez, azonban a vizsgált területek ökológiai adottságait figyelembe véve mindhárom érték a faállományok szempontjából kedvező humusztípusra utal (Járó 1959, Vanmechelen et al. 1997). A kapott értékek alapján ugyanis a kísérleti parcellák humusz-félesége mull típusúnak tekinthető (C/N: 12–20). A különböző időszakokban végzett eddigi vizsgálatok eredményei tehát enyhe növekedést mutatnak, azonban a klímaváltozással kapcsolatosan jövőre vonatkozó előrejelzés a vizsgálati idősor rövidege miatt még nem tehető, ahhoz további mérésekre van szükség.

A szénkészlet-változás és az időjárás alakulása közötti kapcsolat

A klímaadatok közül először a 2007–2010, és az ezt megelőző 2003–2006 közötti időszakot hasonlítottuk össze. Általában megállapítható, hogy a két időszak átlagos hőmérséklet- és csapadékadatainak eltérései nagy változatosságot mutatnak. Vagy a hőmérséklet több, és akkor a csapadék kevesebb, vagy fordítva, vagy mindkét paraméter egy irányba változik. Tekintettel arra, hogy a lebontó szervezetek tevékenységének intenzitása elsősorban a hőmérséklettől és a nedvességtől függ, kerestünk olyan pár hónapon átívelő periódust, ami alatt intenzív lebomlás, elsősorban a humusztakaróban lejátszódhatott. Ezek alapján megállapítható volt, hogy a 2007-től 2010-ig terjedő időszakban a január–márciusi átlaghőmérséklet 2,9 °C-kal, a csapadékösszeg pedig 29%-kal volt több, mint 2003–2006 ugyanezen időszakának átlaga.

A második periódus éveit az 1971–2006 időszak átlagához viszonyítva kitűnt, hogy a 2007. év volt a leginkább kiugró, amikor is a hőmérséklet 3,7 °C-kal, a csapadék pedig 58%-kal volt nagyobb a sokéves átlagoknál (2,0 °C, 106 mm) (4. táblázat). Természetesen feltételezhető, hogy kisebb mértékben ugyan, de még más évek kedvező időjárású hónapjai is szerepet játszhattak a felgyorsult humuszlebomlás bekövetkezésében. Azonban beigazolódni látszik, hogy a télvégi és tavasz eleji nedvesebb, valamint melegebb időjárási körülmények a bomló avar- és a humusztakaró lebomlását elősegítik, a szárazabb és hidegebb viszonyok pedig gátolják, lassítják a folyamatot (Járó 1963, Portillo-Estrada et al. 2016, Santonja et al. 2017).

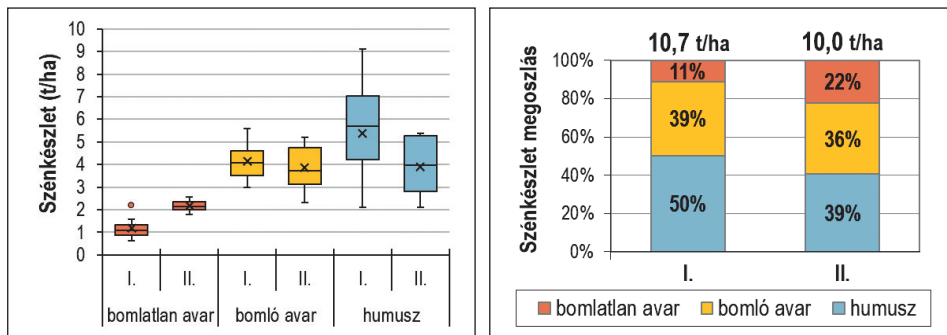
4. táblázat: A mintavételek közti 2007–2010 időszak és a 2007. év január–február–március hónapjainak átlaghőmérséklet- és csapadékösszeg-eltérései az 1971–2006 időszak átlagától (Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással és számítással)

Table 4: Differences in mean temperature and precipitation sum from January to March in the period 2007–2010 and in the year 2007, compared to the long-term period 1971–2006 (Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged and differences calculated)

	Átlaghőmérséklet (°C)				Csapadék (mm)			
	jan.	febr.	márc.	jan.–márc.	jan.	febr.	márc.	jan.–márc.
1. 1971–2006 átlag	-0,72	1,15	5,51	1,98	32,2	33,7	40,4	106,3
2. 1971–2006 szórás	2,19	2,85	2,18	1,83	20,9	18,7	20,8	42,0
3. 1971–2006 átlagos eltérés	1,76	2,36	1,81	1,48	16,8	15,6	16,1	35,3
4. 2007–2010 átlag	0,47	2,94	6,47	3,29	45,7	41,9	55,7	143,3
5. Eltérés 4.-1.	1,19	1,80	0,96	1,31	13,5	8,2	15,3	37,0
6. 2007. év	4,50	5,12	7,34	5,65	36,5	54,4	76,8	167,7
7. Eltérés 6.-1.	5,22	3,98	1,83	3,68	4,2	20,7	36,4	61,4

A 2013. évben lombhullás előtt (szeptember végén) és után (december elején) gyűjtött minták elemzéseiből kiindulva az őszi (október–november) időjárás avar- és humusztakaróra gyakorolt hatásainak feltárására volt lehetőség. Az eredmények azt mutatták, hogy a bomlatlan avar szénmennyisége a lombhullás után több, mint kétszerese a lombhullás előttinek, ami természetes, míg a bomló avar szénkészlete valamivel kevesebb, mint lombhullás előtt (6. ábra). A humusztakaró szén-

készletváltozása viszont már jelentősebb, $-1,5$ t/ha (-27%) volt a lombohullás előtti mennyiséghez képest. A humusztakaróra kiszámított átlagos C/N arány a lombohullás előtti 14,5-ről lombohullás után 15,6-ra növekedett.



6. ábra: 2013-ban lombohullás előtt (I.) és után (II.) gyűjtött minták szénkészlete és annak megoszlása
Figure 6: Carbon stocks (left) and percentages (right) of the separated layers, based on the samples collected before (I.) and after (II.) the autumn litterfall in 2013

Mivel a humusztakaróban az átlagos szénkoncentráció növekedett a lombohullás után, a készletcsökkenés a szervesanyag-tömeg fogyása miatt következett be, azaz intenzívebb lebomlás zajlott le. Ehhez kedvező feltételeket biztosított a 2013 október–novemberi hónapok időjárása, nagymértékben elősegítve a biológiai folyamatok működését. Ebben az időszakban ugyanis a sokéves (1971–2012) átlaghoz viszonyítva $2,0$ °C-kal magasabb hőmérséklet (5. táblázat) és 60%-kal több csapadék (6. táblázat) jellemezte a vizsgált területeket, sőt ezt megelőzően a szeptemberi csapadékösszeg is meghaladta (+36%) a sokéves átlagot. Ez utóbbi körülmény figyelembevételé azért lehetséges, mert a humusztakaróban tárolódott nedvesség hatása még a következő hónapban is érvényesül.

5. táblázat: A 2013 őszi átlaghőmérsékletek eltérése a sokévi (1971–2012) átlagtól
(Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással és számítással)

Table 5: Differences of the average temperatures in the autumn of 2013 compared to the long-term (1971–2012) average (Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged and differences calculated)

Hónap/időszak	1971–2012 (°C)	2013 (°C)	Eltérés (°C)
Október	10,0	12,2	2,2
November	4,6	6,5	1,9
Ősz (szept.–okt.–nov.) átlag	9,9	11,1	1,2
Október–november átlag	7,3	9,3	2,0

6. táblázat: A 2013 őszi csapadékösszegek eltérése a sokévi (1971–2012) átlagtól
(Adatbázis: Meteorológiai Adattár, HungaroMet, saját átlagolással és számítással)

Table 6: Differences of precipitation sums in the autumn of 2013 compared to the long-term (1971–2012) average
(Database: Meteorological Database, HungaroMet; averaged and differences calculated)

Hónap/időszak	1971–2012 (mm)	2013 (mm)	Eltérés	
			(mm)	(%)
Szeptember	70	95	25	36
Október	59	20	-39	-66
November	60	171	111	185
Ősz (szept.–okt.–nov.)	189	286	97	51
Október–november	119	191	72	60

ÖSSZEFOGLALÁS

Zalai bükkös fatermési kísérleti parcellákban vizsgáltuk az avar- és a humusztakaró szervesanyag-mennyiségét és a szén- és nitrogénkészlet időbeli változását, valamint időjárási viszonyokkal való összefüggését 2006-ban, 2010-ben és 2013-ban gyűjtött minták alapján, három szint (bomlatlan avartakaró, bomló avartakaró, humusztakaró) elkülönítésével.

Az 1971–2020 időszak hőmérséklet és csapadék adatainak értékelésével megállapítottuk, hogy a trendek az átlaghőmérsékletek egyértelmű szignifikáns növekedését mutatják, míg a csapadék esetében tendencia nem figyelhető meg. A FAI értékek alapján a vizsgált területek a bükkös és gyertyános-tölgyes klíma átmenetéből egyre inkább a gyertyános-tölgyes klímába tolódnak, azaz a bükktermesztés számára kedvezőtlenebbé válnak.

A mért szervesanyag-tömeg a 2006-os minták esetében volt a legnagyobb, mindhárom szint esetében. A humusztakaró mennyisége 2010-re jelentősen lecsökkent (72 t/ha-ról 29 t/ha-ra), majd 2013-ra tovább fogyott (23 t/ha-ra). Ennek megfelelően csökkent a szénkészlet is, elsősorban 2006/2007 és 2010/2011 tele között. Hasonló változások tapasztalhatók a nitrogénkészlet esetében is. A C/N arány mérsékelt növekedést mutat az évek előrehaladtával, azonban értékei minden évben kedvező mull típusú humuszformára utalnak. A változások összefüggésbe hozhatók a január–márciusi időszakban megfigyelt enyhébb és csapadékosabb időjárással.

A 2013-ban lombhullás előtt és után gyűjtött minták eredményei alapján arra következtettünk, hogy rövidebb idő, akár két hónap alatt is mintegy 27%-os csökkenés jelentkezhet a humusztakaró szerves anyagának mennyiségében. A sokéves átlaghoz képest kimutatott magasabb októberi–novemberi átlaghőmérséklet és csapadékösszeg segíthette elő a lebomlási folyamatok intenzívebbé válását.

Összegzésként megállapítható, hogy a klímaváltozás által előidézett hőmérséklet-emelkedés változtatlan vagy kevesebb csapadék esetén nem növeli a lebomlás intenzitását, ellenben, ha a melegebb időjárás az átlagosnál több csapadékkal párosul, akkor igen. Ennek megfelelően feltételezhető, hogy bizonyos körülmények mellett a humusz gyors lebomlása eredményeként az erdők időszakosan szénkibocsátóvá válhatnak. A klímaváltozással kapcsolatos prognózisok készítéséhez azonban további vizsgálatokra van szükség, más területekre és több évre kiterjesztve az időjárással való összefüggések elemzését.



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen publikáció a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú projekt keretében a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A terepi munkákban, a minták osztályozásában és adatrögzítésben való közreműködésükért köszönetünket fejezzük ki Kocsisné Antal Judit, Balikó János, Czupy György, Takács Tamás és Osgyáni Anett kollégáknak, továbbá a laboratóriumi előkészítések és elemzések kivitelezéséért a SOE ERTI Sárvár Ökológiai Laboratórium munkatársainak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Aerts R. 1997: Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79(3): 439–449. <https://doi.org/10.2307/3546886>
- Arbeitskreis für Bodensystematik 1985: Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland, Kurzfassung. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 44: 1–91.
- Berki I., Móricz N., Rasztovíts E. & Vig P. 2007: A bükk szárazság tolerancia határának meghatározása. In: Mátyás Cs. & Vig P. (eds.): *Erdő és klíma V. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron*, 213–228.
- Bidló A. 2014: Erdei ökoszisztémák szénkészletének klímafüggő változása. In: Mátyás Cs. (ed.): *Agrárklíma: Az előrejelített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron*, 106–111.
- Bidló A. & Führer E. 2022: Szervesanyag (avar és humusz) készlet és lebomlása. In: Bartha D., Csóka Gy. & Mátyás Cs. (eds.): *Az erdészeti tudományok története Magyarországon. Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának tanulmánykötete I. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron*, 34–36.
- Birck O., Kiss R., Márkus L., Solymos R. & Tallós P. 1962: A hosszúlejárátú erdőnevelési és fatermési kísérleti területek kitérésének, felvételezésének és fenntartásának irányelvei. *Erdészeti Kutatások* 58(1–3): 217–259.
- Bondor A. 1988: 25 éves a magyar szervezett, hosszú lejárátú fatermési kutatás. *Erdészeti Lapok* 37(10): 446–453.
- Coûteaux M.M., Bottner P. & Berg B. 1995: Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends in Ecology & Evolution* 10(2): 63–66. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88978-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88978-8)
- Coûteaux M., Sarmiento L., Bottner P., Acevedo D. & Thiéry J. 2002: Decomposition of standard plant material along an altitudinal transect (65–3968 m) in the tropical Andes. *Soil Biology and Biochemistry* 34(1): 69–78. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00155-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00155-9)
- Czúcz B., Gálhidy L. & Mátyás Cs. 2013: A bükk és a kocsánytalan tölgy elterjedésének szárazsági határa. *Erdészeti tudományi Közlemények* 3(1): 39–53.
- Csóka Gy., Koltay A., Hirka A. & Janik G. 2009: Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyesek és bükkösök egészségi állapotára. *„Klíma-21” Füzetek* 57: 64–73.
- Davidson E.A. & Janssens I.A. 2006: Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440: 165–173. <https://doi.org/10.1038/nature04514>
- Ellenberg H. 1988: *Vegetation Ecology of Central Europe*. 4th Edition, Cambridge University Press, Cambridge.
- Fierer N., Allen A.S., Schimel J.P. & Holden P.A. 2003: Controls on microbial CO₂ production: a comparison of surface and subsurface soil horizons. *Global Change Biology* 9(9): 1322–1332. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00663.x>

- Führer E. 2004: Carbon fixing capacity of the forests in Hungary. *Hungarian Agricultural Research* 13(3): 4–7.
- Führer E. & Jagodics A. 2009: A klímajelző fafajú állományok szénkészlete. „Klíma-21” Füzetek 57: 43–55.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. „Klíma-21” Füzetek 61: 98–107.
- Führer E., Horváth L., Jagodics A., Machon A. & Szabados I. 2011: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás* 115(3): 205–216.
- Führer E. 2014: A talaj szervesanyag-tartalmának (avar, humusz, ásványi talaj) zonalitással összefüggő változása. In: Mátyás Cs. (ed.): *Agrárklíma: Az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 102–105.
- Führer E. 2018: A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. *Erdészettudományi Közlemények* 8(1): 27–42. <https://dx.doi.org/10.17164/EK.2018.002>
- Führer E., Heil B., Heilig D., Jagodics A. & Kovács G. 2022a: 48. Göcsej erdészeti táj. 48.2.1. Termőhelyi viszonyok. In: Führer E. (ed.): *Magyarország erdészeti tájai V. Nyugat-Dunántúl erdészeti tájcsoport*. Agrárminisztérium Nemzeti Földügyi Központ, Budapest, 554–558.
- Führer E., Heil B., Heilig D., Jagodics A. & Kovács G. 2022b: 52. Kelet-zalai-dombság erdészeti táj. 52.2.1. Termőhelyi viszonyok. In: Führer E. (ed.): *Magyarország erdészeti tájai VI. Dél-Dunántúl erdészeti tájcsoport*. Agrárminisztérium Nemzeti Földügyi Központ, Budapest, 291–305.
- Gálos B. & Vig P. 2014: Éghajlati tendenciák a Kárpát-medencében és Zala megyében. In: Mátyás Cs. (ed.): *Agrárklíma: Az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 7–16.
- Gálos B., Führer E., Czimer K., Gulyás K., Bidló A., Hänsler A. et al. 2015: Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County. *Időjárás* 119(4): 425–441.
- Gere G. & Hargitai L. 1971: Az avar humifikációjának vizsgálata egy cseres-tölgyes erdőben. *Erdészeti Kutatások* 67(1): 21–28.
- Giardina C.P. & Ryan M.G. 2000: Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature. *Nature* 404(6780): 858–861. <https://doi.org/10.1038/35009076>
- Góber Z. 2005: A Zalaerdő Rt. kezelésében lévő területeken 2004-ben végbement erdőpusztulás értékelése. *Erdészeti Lapok* 140(5): 156–159.
- Halász G. (ed.) 2006: *Magyarország erdészeti tájai*. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest.
- Hansen K., Vesterdahl L., Schmidt I.K., Gundersen P., Sevel L., Bastrup-Birk A. et al. 2009: Litterfall and nutrient return in five tree species in a common garden experiment. *Forest Ecology and Management* 257(10): 2133–2144. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.021>
- HungaroMet: Meteorológiai Adattár. Homogenizált, rácspontra interpolált napi éghajlati adatsorok. HungaroMet Nonprofit Zrt., Budapest. https://odp.met.hu/climate/homogenized_data/gridded_data_series/daily_data_series/ (Letöltés időpontja: 2023.07.03.)
- Jagodics A. & Führer E. 2023: Klímaváltozás hatása az erdő avar- és humuszrétegének szervesanyag mennyiségére és minőségére zalai bükkösök példáján. In: Koncz I. & Szova I. (eds.): *Húsz éve az európai nemzeti tudományosság és a fiatal kutatók szolgálatában. A PEME XXVI. Nemzetközi PhD-Konferenciájának előadásai* (Budapest, Miskolc, 2023. november). Professzorok az Európai Magyarországiért Egyesület, Budapest–Miskolc, 81–91.
- Jahn G. 1991: Temperate deciduous forests of Europe. In: Röhrig E. & Ulrich B. (eds.): *Ecosystems of the world 7. Temperate deciduous forests*. Elsevier, London, 377–502.
- Járó Z. 1958: Alommennyiségek a magyar erdők egyes típusaiban. *Erdészettudományi Közlemények* 1: 151–162.
- Járó Z. 1959: Az erdei alom. *Erdészeti Lapok* 94(8): 302–307.



- Járó Z. 1963: A lomb bomlása különböző állományok alatt. Erdészeti Kutatások 59(1–2): 95–104.
- Járó Z. & Mendlik G. 1986: A bükk általános és erdőművelési tulajdonságai. In: Bondor A. (ed.): A bükk. Akadémiai Kiadó, Budapest, 15–30.
- Járó Z. 1990: A bükkösök szerves- és tápanyagforgalma. Erdészeti Kutatások 80–81: 83–98.
- Knorr W., Prentice I.C., House J.I. & Holland E.A. 2005: Long-term sensitivity of soil carbon turnover to warming. *Nature* 433(7023): 298–301. <https://doi.org/10.1038/nature03226>
- Kollár T., Veperdi G. & Rédei K. 2018: A fatermési, erdőnevelési és hálózati tartamkísérletek múltja, jelene és jövője. *Erdészeti Lapok* 153(10): 306–310.
- Kollár T. & Borovics A. 2021: A magyarországi hosszú lejáratú erdészeti tartamkísérleti hálózat fenntartásának korszerű irányelvei, adatfeldolgozási módszerei és legfontosabb eredményei. *Erdészettudományi Közlemények* 11(2): 95–114. <https://dx.doi.org/10.17164/EK.2021.006>
- Kollár T. 2022: Bükk (*Fagus sylvatica*) állományok fatermési függvénye és táblája az ERTI tartamkísérleti hálózatának adatbázisa alapján. *Erdészettudományi Közlemények* 12(1): 5–29. <https://doi.org/10.17164/EK.2022.01>
- Matala J., Kellomäki S. & Nuutinen T. 2008: Litterfall in relation to volume growth of trees: analysis based on literature. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23(3): 194–202. <https://doi.org/10.1080/02827580802036176>
- Mátyás Cs., Führer E., Berki I., Csóka Gy., Drüsler Á., Lakatos F. et al. 2010: Erdők a szárazsági határon. „Klíma-21” Füzetek 61: 84–97.
- McGill W.B. 1996: Review and classification of ten soil organic matter (SOM) models. In: Powlson D.S., Smith P. & Smith J.U. (eds.): Evaluation of organic matter models using existing, long-term datasets. NATO ASI Series, Vol. 38. Springer, Berlin, Heidelberg, 111–132. https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3_9
- Melillo J.M., Steudler P.A., Aber J.D., Newkirk K., Lux H., Bowles F.P. et al. 2002: Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. *Science* 298(5601): 2173–2176. <https://doi.org/10.1126/science.1074153>
- Mendlik G. & Birck O. 1968: Bükköseink fatermési vizsgálata. *Erdészeti Kutatások* 64(1–3): 31–49.
- Molnár M. & Lakatos F. 2009: Bükkpusztulás Zala megyében. „Klíma-21” Füzetek 57: 74–82.
- Pántos Gy., Pántosné Derimova T. & Vahaye G.A. 1981: Erdei ökoszisztémák avartakarójának száraz- és tápanyagtartalma, valamint átalakulása. *Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények* 1981(1): 91–106.
- Portillo-Estrada M., Pihlatie M., Korhonen J.F.J., Levula J., Frumau A.K.F., Ibrom A. et al. 2016: Climatic controls on leaf litter decomposition across European forests and grasslands revealed by reciprocal litter transplantation experiments. *Biogeosciences* 13(5): 1621–1633. <https://doi.org/10.5194/bg-13-1621-2016>
- Santonja M., Fernandez C., Proffit M., Gers Ch., Gauquelin Th., Reiter I.M. et al. 2017: Plant litter mixture partly mitigates the negative effects of extended drought on soil biota and litter decomposition in a Mediterranean oak forest. *Journal of Ecology* 105(3): 801–815. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12711>
- Sponagel H., Grottenthaler W., Hartmann K.-J., Hartwich R., Janetzko P., Joisten H. et al. 2005: *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 5. Auflage. Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Vanmechelen L., Groenemans R. & Van Ranst E. 1997: Forest soil condition in Europe: Results of a large-scale soil survey. Technical Report. European Commission, UN/ECE, Ministry of the Flemish Community, Brussels, Geneva.

Érkezett: 2024. szeptember 28.
Közlésre elfogadva: 2025. január 08.