

EK Erdészettudományi Közlemények

10. évfolyam 1-2. szám 2020

A NAIK Erdészeti Tudományos Intézet és a Soproni Egyetem
Erdőmérnöki Karának tudományos lapja





Süngomba

Az idős, természetes erdőkre jellemző élőhelyi elemek (fákon lévő mikroélőhelyek) közül a tölgyek (*Quercus* spp.) és a bükk (*Fagus sylvatica*) élő vagy elhalt törzsének repedéseiből vagy tő-, illetve törzsodvából fejlődhet ki a közönséges süngomba (*Hericium erinaceus*). Fehérkorhasztó, nekrotóf sebszaporító és lignolitik szaprobionta faj. 2005-től hazánkban is védett gombafaj, erősen veszélyeztetett, elsősorban élőhelyeinek visszaszorulása, elvesztése miatt. Előfordulása egy erdőrészletben jelzi az adott állományrész kedvező természetességi állapotát, az odvas, elhaló faanyag jelenlétét. A gombának élőhelyet adó faegyedet habitatfaként javasolt visszahagyni. A képen egy nagy fakopáncs (*Dendrocopos major*) odúból kifejlődött közönséges süngomba kocsánytalan tölgyön (Bükk-hegység, Noszvaj).

Fotó és szöveg: Frank Tamás (ÖK ÖBI, Vácrátót)

Erdészettudományi Közlemények

10. évfolyam 1–2. szám



2020

Főszerkesztő:

Csóka György (NAIK ERTI)

Helyettes főszerkesztő:

Lakatos Ferenc (SOE EMK)

Technikai szerkesztők:

Hirka Anikó (NAIK ERTI), Király Gergely (SOE EMK), Molnár Miklós (SOE EMK)

A szerkesztőbizottság társelnökei:

Borovics Attila (NAIK ERTI) és Náhlik András (SOE EMK)

A szerkesztőbizottság tagjai:

Albert Levente (SOE EMK)

Duska József (MEGOSZ)

Führer Ernő (NAIK ERTI)

Göbölös Péter (Gyulaj Zrt.)

Gribovszki Zoltán (SOE EMK)

Kolozs László (NÉBIH EI)

Kovács Gábor (SOE EMK)

Szabados Ildikó (AM)

Szepesi András (AM)

Felelős kiadó:

Borovics Attila

NAIK Erdészeti Tudományos Intézet

9600 Sárvár, Várkerület 30/A

Címlapterv:

Griffes Grafikai Stúdió

4027 Debrecen, Ibolya u. 8. III/10.

www.griffes.hu

Címlapkép:

Mátrai gyertyános–cseres–kocsánytalan tölgyes lombfakadást követően

(©NAIK ERTI Erdővédelmi Osztály)

ISSN 2062-6711

Nyomdai munkák:



INFORM Kiadó és Nyomda Kft.

1149 Budapest, Angol u. 34.

Felelős vezető: Bolyki István

www.informstudio.hu

2020/34

TARTALOMJEGYZÉK

10. évfolyam 1. szám

<i>Cseke Klára, Kőbölkuti Zoltán Attila, Benke Attila, Rumi Andrea, Báder Mátyás, Borovics Attila és Németh Róbert:</i>	
Nemesnyár klónok faanyagtani jellemzőkhöz köthető génjeinek genetikai változatossága	5–16
<i>Börcsök Zoltán és Pásztory Zoltán:</i>	
Faanyagok hővezetési tulajdonságainak változása a termikus kezelés hatására	17–27
<i>Börcsök Zoltán és Pásztory Zoltán:</i>	
Kéregalapú hőszigetelő lemez tulajdonságainak javítása	29–39
<i>Bolla Bence és Szabó András:</i>	
A NAIK-ERTI hidro-meteorológiai monitoring rendszerének kezdeti eredményei a 2019. évi mérések alapján	41–54
<i>Frank Norbert és Lett Béla:</i>	
Quo vadis erdészeti szaporítóanyag-termesztés? II. (Erdészeti szaporítóanyag-termesztés a II. világháború után)	55–66

10. évfolyam 2. szám

<i>Sass Vivien, Ódor Péter és Bidló András:</i>	
Különböző erdészeti beavatkozások hatása egy gyertyános-tölgyes avartakarójára	69–82
<i>Ripka Géza:</i>	
Erdei fa- és cserjefajok gubacsatkái	83–95
<i>Koltay András, Fűrjes-Mikó Ágnes, Tenorio-Baigorria Imola, Eötvös Csaba Béla és Horváth László:</i>	
Erdő egészségi állapot vizsgálatok a Kaszó-Life projekt keretében	97–108
<i>Bali László, Tuba Katalin és Szinetár Csaba:</i>	
A Roth-féle száraló erdő arachnológiai vizsgálata	109–124
<i>Palkó Ákos, Ónodi Gábor, Rédei Tamás és Winkler Dániel:</i>	
Talajfaunisztikai- és ökológiai vizsgálatok alföldi reliktum homoki tölgyesekben és a helyükön létesített idegenhonos faállományokban	125–139
Az Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 16. évfolyamában (1–2. szám) megjelent tanulmányok címei és kivonatai	141–144

CONTENTS

Vol. 10 Nr. 1

<i>Klára Cseke, Zoltán Attila Köbölkuti, Attila Benke, Andrea Rumi, Mátyás Báder, Attila Borovics and Róbert Németh:</i>	
Allelic variation in candidate genes associated with wood properties of cultivated poplars	5–16
<i>Zoltán Börzsök and Zoltán Pásztory:</i>	
Changes in the heat conducting properties of wood materials as a result of thermal treatment	17–27
<i>Zoltán Börzsök and Zoltán Pásztory:</i>	
Improving the properties of bark based insulation panels	29–39
<i>Bence Bolla and András Szabó:</i>	
Early results of the NARIC-FRI hydrological and meteorological monitoring system	41–54
<i>Norbert Frank and Béla Lett:</i>	
Quo vadis forest reproductive material production? (Forest reproductive materials production after the 2nd World War)	55–66

Vol. 10 Nr. 2

<i>Vivien Sass, Péter Ódor and András Bidló:</i>	
The effects of different forestry treatments on litter conditions in an oak-hornbeam forest	69–82
<i>Géza Ripka:</i>	
Eriophoid mites (Acari: Eriophyoidea) of woody forest plants	83–95
<i>András Koltay, Ágnes Fürjes-Mikó, Imola Tenorio-Baigorria, Csaba Béla Eötvös and László Horváth:</i>	
Health condition investigation of forests in the Kaszó-Life project	97–108
<i>László Bali, Katalin Tuba and Csaba Szinetár:</i>	
Arachnological survey of the Roth selection forest	109–124
<i>Ákos Palkó, Gábor Ónodi, Tamás Rédei and Dániel Winkler:</i>	
Soil eco-faunistic study in lowland relict steppe oak forests and in replacement non-native tree plantations	125–139
Titles and abstracts of papers published in the 16th volume (Nr. 1–2.) of the Acta Silvatica & Lignaria Hungarica	141–144

NEMESNYÁR KLÓNOK FAANYAGTANI JELLEMZŐKHÖZ KÖTHETŐ GÉNJEINEK GENETIKAI VÁLTOZATOSSÁGA

Cseke Klára¹, Köbölkúti Zoltán Attila¹, Benke Attila¹, Rumi Andrea¹, Báder Mátyás², Borovics Attila¹ és Németh Róbert²

¹NAIK Erdészeti Tudományos Intézet

²Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Kivonat

A nemesnyárok kiemelkedő gazdasági jelentőséggel bírnak. A bemutatott vizsgálat legfőbb célja egy olyan kutatási metódika ismertetése, amely a faanyag tulajdonságaiért felelős kulcsenzimek kódoló régióinak azonosításából indul ki, bemutattva a genomikai alapokra helyezett nemesítési technológiákban rejlő lehetőségeket. A vizsgálatunk első szakaszában 24 különböző, a faanyagképződés szempontjából releváns enzim kódoló régiójára terveztünk primerpárokat. Összesen 55 saját fejlesztésű primerpárt teszteltünk, 47,27%-os sikerességgel. Ezután nyolc enzimet választottunk ki részletesebb elemzésre hét nyárfaj és 11 hibrid klón bevonásával, összesen 23 nyár genotípus vizsgálata révén. A kiválasztott enzimek egy része a lignifikáció folyamatában vesz részt (COMT, CCoAOMT, SAMS), egy másik csoport a K⁺-függő xylogenezis során tölt be kulcsszerepet (Kt, ptk2, SKOR), míg a harmadik csoport (endo-1,4-b-xylanase, Araf-ase) a mikrofibrilla szög alakulásához köthető. A sikeresen amplifikált és azonosított 13 markerrégió révén összesen 188 szekvenciát elemeztünk és 90 SNP-t azonosítottunk. Értékeljük a polimorf helyek számát, a nukleotid diverzitást, az inszerciók/deléciók számát, az SNP-k típusát, a rekombinációs események minimális számát, illetve azonosítottuk a konzervatív szakaszokat. Eredményeink bemutatása során részletesen tárgyaljuk a vizsgálatban rejlő alkalmazási lehetőségeket.

Kulcsszavak: SNP marker, nyár, faanyagtani jellemzők

ALLELIC VARIATION IN CANDIDATE GENES ASSOCIATED WITH WOOD PROPERTIES OF CULTIVATED POPLARS

Abstract

Poplars represent high economic value. The aim of the present study was to initiate a research methodology that at first identifies candidate genes encoding enzymes with wood property phenotypic traits, towards the aim of developing a genomics-based breeding technology. As a first step, primer pairs were designed on the coding region of 24 candidate genes. 55 primer pairs were tested with 47.27% success rate. In the next phase, eight enzymes were selected for further analysis on 23 genotypes containing seven different poplar species and 11 hybrids. One group of the analyzed enzymes is involved in the lignification process (COMT, CCoAOMT, SAMS), another group (Kt, ptk2, SKOR) holds a key function in K⁺-dependent xylogenesi, while two more enzymes (endo-1,4-b-xylanase, Araf-ase) have a role in determining microfibril angle. 13 different marker regions were successfully amplified, and 188 sequences were analyzed, altogether resulting in 90 SNPs. The number of polymorphic sites, nucleotide diversity, the number of insertions/deletions, the minimum number of recombination events and the linkage disequilibrium were calculated, while the character of SNPs and conserved DNA regions were identified as well. Potential application fields are discussed along with the presented results.

Keywords: SNP markers, *Populus*, wood property

Levelező szerző/Correspondence:

Cseke Klára, 9600 Sárvár Várkerület 30/A, cseke.klara@erti.naik.hu

BEVEZETÉS

A mintegy 35 holarktikus fajt és számos hibridet magába foglaló nyár nemzetség (*Populus L.*) morfológiailag és ökológiailag is erősen differenciált. A fajok jellemzően pionír jellegűek, és a mérsékelt égöv enyhébb éghajlatú régióiban, valamint a szubtrópusok arid vidékein tenyésznek (Gencsi & Vancsura 1992). Közülük számos faj és hibrid bír kiemelt gazdasági jelentőséggel.

Amellett, hogy gyors növekedésük okán a természet nyárok energetikai célú felhasználásra is alkalmasak, faanyaguk széles körben hasznosítható, pl. rost-, papír- és gyufaipari alapanyagként, valamint forgácslapok, rétegelt lemezek, csomagoló rekeszek, raklapok és bútór- és épületszerkezeti elemek gyártására (Komán 2012). A nyár faanyag színe, keménysége és szilárdsága különböző modifikálási módszerekkel (gőzöléssel, hidrotermikus kezeléssel, olajban való főzéssel, tömörítéssel stb.) a felhasználási céloknak megfelelően módosítható (Bak & Németh 2012, Horváth et al 2012).

Gazdasági jelentőségükre való tekintettel a nemesnyárok szelekciója napjainkban is tartó folyamat. A megfelelő törzsalak, növekedés és károsítókkal, kórokozókkal szembeni tolerancia mellett kiemelt célként jelent meg olyan feldolgozás szempontjából fontos faanyagtani tulajdonságok javítása, mint a fatestsűrűség vagy rostminőség (Christensen et al 2000). Hagyományos nemesítési módszerekkel e tulajdonságok módosítása – kiváltképp a faanyagtani jellegeké – csak hosszú távon lehetséges, köszönhetően a nyárok több évtizedet is felölelő termesztési ciklusának. Erre a problémára nyújthat megoldást a molekuláris genetika, amelyhez mindenekelőtt az egyes faanyagtani jellegek kialakulásáért felelős élettani mechanizmusok, és ezek genetikai szabályozásának megismerése szükséges.

A faanyagképződés egymást követő lépések sorozata, amely magába foglalja a sejtosztódást, sejtnövekedést, a sejtfalvastagodást (a cellulóz, a hemicellulózok, a sejtfal fehérjék és a lignin bioszintézisével és beépülésével együtt), a programozott sejthalált és a gesztesedést (Barnett & Bonham 2004). A növényi sejtfal váz eleme a cellulóz, amely egy β -D-glükózból származtatott poliszacharid. A hosszú cellulóz láncmolekulák kötegbe, elemi fibrillába rendeződnek, szabályos rozetta szerkezetű struktúrát alkotva. A cellulózláncok között oldalirányban kialakult másodlagos kötések szabályos szerkezeti szimmetriát mutatnak, és ez a kristályos szerkezet biztosítja a fibrillák nagyfokú kémiai stabilitását és kedvező szilárdsági tulajdonságait. Ezek az elemi szerkezeti egységek egymással párhuzamosan elhelyezkedve sűrű szövetekben mikrofibrillát hoznak létre. A mikrofibrillák építik fel a különböző sejtfalrétegeket. A mikrofibrillákon belül az elemi fibrillák között hézagok, rések találhatóak (intermicelláris üregek), ahová a vízmolekulák és egyéb anyagok képesek beékelődni. A xilém sejteiben, növekedésük befejeztével megkezdődik az elsődleges sejtfal vastagodása, illetve a másodlagos sejtfal kialakulása. A folyamat záró lépése a lignifikáció. A lignin bonyolult összetételű aromás vegyület, hálózatos, amorf szerkezettel. A hemicellulózok (xilán, arabán, mannán, galaktán) és a pektinek keresztkötések révén összekötő szerepet töltenek be a cellulóz rostok és a lignin között. A lignifikáció során a mikrofibrillák közti interfibrilláris üregeket nagyrészt lignin tölti ki, ezáltal megnövelve a faanyag nyomószilárdságát és sűrűségét. Továbbá hemicellulózok, pektin, ásványi anyagok (hamualkotók), víz, valamint egyéb, kisebb méretű járulékos anyagok (fenolszármazékok, gyanták, terpének stb.) is lerakódhatnak. A cellulóz adja tehát a sejtfal alapvető vázát, míg a hidrofób lignin teszi azt megfelelően erőssé a külső terheléssel és ellenállóvá a víztranszport során fellépő nyomással szemben.

A másodlagos sejtfal S2 rétege a sejtfal legvastagabb egysége, ezáltal a legmeghatározóbb a faanyag tulajdonságait tekintve. Az S2 sejtfalréteget felépítő mikrofibrilláknak a sejt hossz tengelyéhez viszonyított lefutási szöge a mikrofibrilla szög ('microfibril angle', MFA). A fák növekedése során a fiatal egyedek esetében a nagyobb MFA nagyobb rugalmasságot biztosít, ami például a széllal szembeni ellenállás szempontjából előnyös, míg a később képződő, idősebb sejtek esetében az alacsony MFA kellő szilárdságot ad a megnövekedett koronaméretből adódó tömeg megtartásához (Barnett & Bonham 2004). A MFA értéke szoros összefüggést mutat a faanyag szilárdságával, zsugorodás-dagadásával, valamint rugalmassági jellemzőivel (Donaldson

2008). A kisebb MFA kedvezőbb mechanikai jellemzőket biztosít. A faanyag keménységével is jól korreláló longitudinális rugalmassági modulusz ('longitudinal modulus of elasticity', MOE) alakulását a sűrűség mellett mintegy 85%-ban a MFA értéke határozza meg (Evans & Ilic 2001).

A faszerkezetet meghatározó élettani folyamatok lebonyolításában és szabályozásában specifikus fehérjék, enzimek és transzkripciós faktorok vesznek részt. A sejtfal létrejöttének és a fás növényekre jellemző másodlagos vastagodás sejtszintű folyamatainak feltárásában újabb és újabb eredmények születnek, áthelyezve ezzel a hangsúlyt a szöveti szintű megfigyelésekről az egyes sejtekben lejátszódó, sejt-specifikus folyamatokra (Lampugnani et al 2018, Meents et al 2018, Tobias et al 2020). A sejtfal mátrix kialakulásában és módosulásában a cellulóz szintáz enzimek (CESA) mellett, a xilém-specifikus glikoziltranszferáz enzim játszik kulcsfontosságú szerepet (Geisler-Lee et al 2006, McFarlane et al 2014). A fásszárúakban megtalálható vaszkuláris kambiumra és a vele szomszédos differenciálódási zónára a sejtformódosító enzimeket kódoló gének magas expressziója jellemző (Mellerowicz & Sundberg 2008). A másodlagos sejtformódosításhoz a sejtfal bioszintézis átprogramozása szükséges a sejtformódosítás indukálásáért felelős transzkripciós faktorok aktiválása által (Zhong & Ye 2007). A sejtfal egyes rétegeiben változik a mikrofilibrillák felépítése, ill. a cellulóz és a mátrixanyagok aránya (lignin, hemicellulózok, pektin). Expressziós vizsgálatok kimutatták, hogy cellulóz szintáz fehérjék fontos szerepet játszanak a másodlagos sejtformódosításban és a xilém szöveteinek bioszintézisében (Mutwil et al 2008). A MFA nagyságát pedig jellemzően a mikrotubulusok (a sejtszervecskék rögzítéséért felelős citoskeleton alapvető komponensei) befolyásolják, mely tényről alátámasztani látszik az α - és β -tubulinok nagyarányú expressziója a xilém másodlagos sejtformódosításakor (Oakley et al 2007).

A nyárak viszonylag kis méretű genommal rendelkeznek (550 Mb) (Bradshaw & Stettler 1993). A rendelkezésre álló géntérképeket felhasználva már számos, a faanyagképződésben szerepet játszó gén működését vizsgálták (Li et al 2006), elősegítve a faanyagképződés folyamatának jobb megismerését. Ugyanakkor, a genom meghatározott pontján előforduló egy bázispáronyi eltérések (egypontos nukleotid-polimorfizmus, 'single-nucleotide polymorphism', SNP) nyárak faanyagtani tulajdonságaival kapcsolatos kutatásokban való alkalmazásra kevés példa akad. Részből emiatt, illetve köszönhetően annak, hogy az SNP-k potenciálisan a legjobb genetikai markereknek tekinthetők, nagy számuk, valamint adaptív jellegekkel való kapcsolatuk okán (González-Martínez et al 2006), kutatásunkhoz ezt a módszert választottuk. Jelen tanulmányban a korábban közölt eredményeink (Köbölkuti et al 2019) összefoglalásán túl, bemutatjuk a kutatási területen tett további lépéseinket és kiterünk a jövőbeni alkalmazási lehetőségekre is. Az ismertetni kívánt kutatási feladataink a következők: 1) faanyagképződéssel kapcsolatos funkcionális gének azonosítása nyilvánosan elérhető genom adatbázis szekvencia adatai alapján, 2) primertervezés ezekre a génszakaszokra, 3) polimorf szekvenciák azonosítása a hazai nyártermesztésben alkalmazott nyár fajták genomjában, végül 4) „klónspecifikus” haplotípusok azonosítása a célrégiókban, későbbi fenotípus adatokkal történő összehasonlító genetikai vizsgálatok megalapozása céljából.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Markerfejlesztés

A markerfejlesztés első lépéseként irodalmi adatok alapján egy olyan adatbázis kiépítését végeztük el, amelybe a faanyagképződés folyamatában nagy valószínűséggel szerepet játszó kulcsfehérjéket gyűjtöttük össze. A kiválasztott fehérjékhez az NCBI adatbázisból (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>, 2018.03.07) rendeltük hozzá annak kódoló szekvenciáját a következő kritériumoknak megfelelően: elsőként a *Populus* nemzetségen belül azonosított, génexpressziós vizsgálatok nyomán rögzített, ún. EST ('expressed sequence tag') szekvenciákat kerestünk. Amennyiben a nemzetségen belül ilyen találat nem állt rendelkezésre, a keresést az összes kétszikűre ('eudicots') kiterjesztettük.



EST szekvenciákon történő PCR (polimeráz láncreakció, 'polymerase chain reaction') primerek tervezése során figyelembe kell vennünk a különböző hosszúságú, ismétlődő intronok esetleges jelenlétét a vizsgálni kívánt szekvenciában. Ezek az ismétlődő mintázatok nagymértékben befolyásolhatják a primerek bekötődését a PCR során, továbbá egyes esetekben túl hosszú amplifikálandó szekvenciát eredményeznek. Emiatt az EST BLAST adatbázisunk szekvenciáit az NCBI BLAST Genomes eszköztára (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) alkalmazásával teszteltük. Ebben a lépésben a *Populus trichocarpa* (taxid 3694) faj genomjában kerestünk az EST adatbázis szekvenciáival homológ szakaszokat a következő szűrőbeállítással: 1) a legalacsonyabb E-érték <0,001 legyen, (2) az azonosság ('identity') értéke minimum 98%, és (3) HSP hosszúság 100 és 1000 bp közé essen. Ezen lépések után 55 szekvencia került kiválasztásra a primertervezéshez, amelyhez a Primer 3 Plus szoftvert (<https://primer3plus.com/cgi-bin/dev/primer3plus.cgi>) alkalmaztuk. Az így nyert primerpárok *in silico* tesztjét az NCBI Primer-BLAST eszköztár (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/index.cgi>) segítségével végeztük el, az esetleges paralóg lókuszon történő, párhuzamos amplifikációk kizűrése érdekében.

Vizsgált növényanyag

A vizsgálathoz összesen 23 nyár klónt választottunk ki, amelyek között szerepelnek ismert magyar nemesítésű *Populus × euramericana* [Dode] Guinier hibridek ('Pannónia', 'Koltay', 'Kopecky'), ígéretes magyar nemesítésű hibrid klónok ('Sv-656', 'Sv-761', 'Sv-874', 'Sv-890'), illetve nemzetközileg is ismert, Belgiából, Olaszországból és Lengyelországból származó fajták ('Beaupre', 'Raspalje' [*Populus × interamericana* Brockh.], 'I-214' [*Populus × euramericana*], 'Kornik-21' [*Populus maximowiczii* A.Henry × *Populus × berlinensis* Dippel]). A mintasort kiegészítettük továbbá hét *Populus* fajhoz tartozó mintaegyeddel, amelyek a következők voltak: *Populus nigra* L. ('Lassicsárda 7', 'Lébény 211', Győr 203'), *Populus deltoides* Marsh. ('Durvakérgű', 'S-1-54', 'S 307-24', 'S 332-1'), *Populus trichocarpa* Torr. et Gray ('Muhle Larsen'), *Populus grandidentata* Michx. ('227'), *Populus alba* L. ('Villafranca'), *Populus tremula* L. ('105'), *Populus × canescens* Sm. ('65'). Ezek a genotípusok nagyrészt nemesítési alapanyagként használt szelektált törzsfák közül kerültek ki, illetve korábbi vizsgálatokból származó, egyéb hazai nyár fajok egyedei voltak. A vizsgálati növényanyag a NAIK ERTI *ex situ* gényűjteményéből (Sárvár – Bajti) származott. A mintavétel során a DNS-extrakcióhoz növedékfúróval egy rövid furatot vettünk a törzsből. A mintasort kiegészítettük továbbá korábbi vizsgálatokból származó DNS mintákkal, amelyek esetében a kiindulási növényanyag levélszövet volt.

Laboratóriumi munkafázis

A DNS extrakcióhoz kb. egy cm² friss levélszövetet, illetve növedékfúróval vett furatból 10 mg faanyagot folyékony nitrogénnel steril mozsárban porrá őröltünk. Az extrakcióhoz az ATMAB protokollt (Dumolin et al 1995) alkalmaztuk. Az extrakció eredményességét, továbbá a kinyert DNS-oldatok koncentrációját 0,5%-os agaróz gélelektroforézissel ellenőriztük.

A PCR elvégzéséhez szükséges, saját tervezésű oligonukleotid primerpárokat az IDT-nél (Integrated DNA Technologies, Bio-Science Kft.) szintetizáltattuk, standard kisozásos eljárással. Első lépésként 55, újonnan tervezett primerpár PCR tesztelését végeztük el. Az alkalmazott PCR mastermix Isabel et al (2013) nyomán a következő összetételű volt 15 µl végtérfogatra elkészítve: 10 ng/µl templát DNS, 1x PCR puffer (Promega GoTaq G2 Flexi, 5x Reaction Buffer, magnézium nélkül), 2 mM MgCl₂ (Promega), 15 µM dNTPmix (Promega, 10 mM egyenként), 0,5 unit polimeráz enzim (Promega GoTaq G2 Flexi, 5U/ µl) és 0,13 µM forward és reverse irányú primer. A PCR-hez Veriti Personal Thermocycler (Applied Biosystems) készüléket használtunk, a következő programon: elődenaturáció 95 °C 3 percig, majd 94 °C 30 másodpercig, primer bekötődés T_{ann}=50 °C 45

másodpercig, lánchosszabbítás 72 °C 90 másodpercig, a három lépés ismételve 35 cikluson keresztül, végül záró lánchosszítás 72 °C 10 percig. A PCR sikerességének ellenőrzésére 2%-os agaróz gélelektroforézist (Roti Agarose, Roth GmbH) alkalmaztunk, 1 x TAE pufferben, 120 V feszültségen, egy órán át futtatva, GelRed (Biotium) festékkel. A PCR-t a további vizsgálatokhoz megfelelőnek tekintettük, amennyiben a gélképen a megfelelő mérettartományban egyetlen sáv volt látható. Többsávú mintázat esetében, az adott primerpárnál $T_{ann}=55$ °C alkalmazásával megismételtük a PCR-t, a reakciókörülmények optimalizálása érdekében.

A tesztelés után az egy sávként megjelenő PCR termékek közül választottuk ki azokat, amelyeket lehetséges SNP polimorfizmus detektálása érdekében szekvenálással tovább elemeztünk. Az első ütemben a következő hat célgén, összesen hét szekvenciárészletét elemeztük a teljes mintasoron: COMT, CCoAOMT, K-transporter, ptk, SAMS, SKOR. A második ütemben részben tovább folytattuk két célgén (CCoAOMT, SAMS) vizsgálatát további négy szekvenciárészlet bevonásával, illetve két újabb fejlesztésű, a MFA alakulásához köthető markert, az endo-1,4b-xilanázt (a továbbiakban EC3218) és α -L-arabinofuranozidázt (a továbbiakban Araf-ase) vontunk vizsgálatba. A második ütem tesztelését négy mintán végeztük el ('I-214', 'Pannónia', 'Lébény 211', 'S-1-54'). A vizsgálatba vont nyolc enzim pontos megnevezését és főbb élettani funkcióját az 1. táblázat ismerteti.

A Sanger szekvenálásra kiválasztott PCR termékeket ExS-Pure enzimes PCR cleanup kit-tel (NimaGen BV, Nijmegen, The Netherlands) tisztítottuk a gyártó útmutatása alapján. A szekvenálást a BIOMI Kft. végezte (Gödöllő, Magyarország) ABI 3130xl készüléken. Az első ütemben, a 'Pannónia' klón esetében mindkét irányból (Fw, Rev) megtörtént a vizsgált hét régió szekvenálása. Következő lépésként mind a hét esetben kiválasztottuk a megfelelőbb BLAST találatot adó szekvenciavariánst a két irány közül, majd a további minták esetében már csak ebből az irányból szekvenáltunk. A második ütemben, a kiválasztott hat újabb primerpárral kapott amplikont, a vizsgált négy minta esetében mindkét irányból szekvenáltuk.

Szekvenciaelemzés

A nyers kromatogramok elemzését, illetve a szekvenciák szerkesztését első lépésben a BioEdit Sequence Alignment Editor 7.0.9.0 verziójú (Hall 1999) szoftverrel végeztük. A nem egyértelmű, átfedésben lévő dupla szekvenciák esetében a CodonCode Aligner 8.0.2 (CodonCode Corporation) Trace Recalling metódusát (Tenney et al 2007) alkalmaztuk a további elemzéshez. A nyers szekvenciák szerkesztése után a CLC Genomic Workbench 12.0-Viewing Mode (QIAGEN Bioinformatics) segítségével markerenként elkészítettük a vizsgált minták szekvenciáinak illesztését ('alignment') a következő beállításokkal: *gap open cost value 10, gap extension cost value 1, end gap cost 'as any other', very accurate (slow) mode*. Az illesztett szekvenciákban azonosítottuk a potenciális SNP-eket és amennyiben szükséges volt, jelenlétüket újra ellenőriztük a nyers kromatogramon is a BioEdit segítségével. Ezután rögzítettük a vizsgált nyár klónokat elkülönítő SNP-eket, majd a lókuszeket az NCBI Genome Data Viewer (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/gdvl/>) eszköztár segítségével a következő diverzitási mutatók alapján értékeltük: polimorf lókuszek száma, nukleotid diverzitás, inszerciók/delécioók száma, SNP típusa (szinonim vagy nem-szinonim), rekombinációs események minimum száma, végül azonosítottuk a lókuszek konzervált régióit.

EREDMÉNYEK

A vizsgálatunk első szakaszában 55 saját fejlesztésű primerpárt teszteltünk, amelyeket 24 különböző, a faanyagképződés szempontjából releváns enzim kódoló régiójára terveztünk. A tervezett primerek közül 49 eredményezett PCR terméket és ezek közül 26 amplikon jelent meg egyetlen sávként az elektroforézis



gékben. A *Populus trichocarpa* genomban tervezett primerek 47,27%-a volt ennek alapján sikeres. A 26 génszakaszból ezután hét került kiválasztásra a teljes, 23 mintából álló mintasoron történő szekvenciaelemzésre. A Kt 1, ptk 2/2 és SAMS 1 forward (Fw), a COMT 3, COMT 4, CCoAOMT 4, SKOR 3 fragmentumokat reverz (Rev) irányból szekvenáltuk az előzetes tesztelés eredményei alapján. A szekvenálás mind a hét génfragmens esetében elemezhető minőségű kromatogramot eredményezett a minták többségénél.

A CCoAOMT 4 marker esetén 13 minta ('Pannónia', 'Kopecky', 'Koltay', 'Durvakérgű', 'Sv-656', 'Sv-874', 'Sv-890', 'I-214', 'Raspalje', 'Beaupré', '227', '65', '105') kromatogramján bizonyos szekvenciaregió dupla görbeként jelent meg. Az adott mintáknál a génszakasz kettős átíratát külön-külön elemeztük, a feltételezett „eredeti” és „alternatív” (átfedő) szekvenciákat is figyelembe véve. A vizsgált mintaszám ebben az esetben 34-re emelkedett.

Munkánk második szakaszában az első fázisban is vizsgált SKOR, SAMS és CCoAOMT enzimeket kódoló gének újabb részeit, valamint a *MFA*-t meghatározó *Araf-ase* és EC3218 kódoló szekvenciáját sikerült felszaporítanunk, mindkét irányból szekvenálnunk, majd elemeznünk. Az előbbi esetében csupán két minta kromatogramja volt értékelhető. A CCoAOMT 1 marker három mintánál ('I-214', 'Pannónia', 'S-1-54') ugyancsak dupla lefutást mutatott a kromatogramok bizonyos szekvenciahosszán.

Összességében nyolc különböző gén fragmenseit amplifikáltuk és azonosítottuk 13 markerrégió segítségével. A nyolcból hét génszakaszt összesen 22 különböző nyár genotípuson vizsgáltunk, és összesen 188 szekvenciát elemeztünk. Eredményeinket a 2. táblázat foglalja össze. A vizsgált 78748 bázispárból 90 esetben találtunk egy pontos nukleotid polimorfizmust. A mutációk száma szekvenciánként 0 (CCoAOMT 5) és 17 (CCoAOMT 4) között változott. A nukleotid diverzitás értékei 0,0000 (CCoAOMT 5) és 0,01109 (Kt 1) között voltak, 0,01575 átlaggal. Indel a 186 szekvencia közül 39-ben fordult elő, értéke a CCoAOMT 4 és a COMT 3 esetében volt a legmagasabb (15 és 14). Szinonim mutációt 25 amplikon esetében találtunk, értékük markerenként 1-től 9-ig terjedt. A legmagasabb érték a COMT 3 esetében (9) mutatkozott, két marker esetében szinonim SNP nem fordult elő. Konzervált régiót nyolc marker nem tartalmazott. A nem-szinonim egy bázisú mutációk száma (49) 0-10 között változott, a COMT 4 esetében mutatta a legnagyobb értéket. A nem-szinonim SNP-k egyike sem hozott létre korai stop kodont. Rekombinációs esemény a 13 vizsgált markerrégióban összesen 22 esetben fordult elő; a SKOR 3 különösen figyelemre méltó e tekintetben.

1. táblázat: A vizsgálatba vont nyolc enzim pontos megnevezése, az alkalmazott rövidítések és a főbb élettani folyamatban betöltött szerepük

Table 1: Name, abbreviation and main physiological function of the analysed eight enzymes

Rövidítés	Enzim	Élettani szerep	Referencia
COMT	caffeate O-methyltransferase (EC 2.1.1.68)	lignifikáció	Halpin 2004
CCoAOMT	Caffeoyl-CoA O-methyltransferase (EC 2.1.1.104)	lignifikáció	Takabe et al 2001
SAMS	S-adenosyl-L-methionine synthase (EC 2.5.1.6)	lignifikáció	Vander Mijnsbrugge et al 2000
Kt	K transzporter 1 (AKT1) / K ⁺ transzporter	K ⁺ -függő xylogenezis	Langer et al 2002; Fromm 2010
ptk 2	potassium channel 2 / K ⁺ csatorna	K ⁺ -függő xylogenezis	Langer et al 2002; Fromm 2010
SKOR	potassium channel (SKOR) / K ⁺ csatorna („Shaker family”)	K ⁺ -függő xylogenezis	Arend et al 2005; Fromm 2010
EC3218	endo-1,4-b-xylanase (EC:3.2.1.8)	mikrofibrilla szög alakulása	Tobias et al 2020
Araf-ase	beta-xylosidase/alpha-L-arabinofuranosidase 1	mikrofibrilla szög alakulása	Tobias et al 2020

2. táblázat: A DnaSP szekvencianalízis eredményei a 13 elemzett génszakaszon
 Table 2: The results of the sequence analysis of the selected 13 gene sequences applying DnaSP

Szekvencia által kódolt enzim	Haplóid mintaszám	Lókuszok száma	Polimorf lókuszok száma	Haplótipusok száma	Nukleotid diverzitás	Indel események száma	Nem-szinonim SNP-k száma	Szinonim SNP-k száma	Konzervált régiók a szekvenciában	Rekombinációs események száma
COMT 3	21	149	9	7	0,01531	14	0	9	–	1
COMT 4	22	114	12	13	0,04176	1	10	3	–	3
Kt 1	22	164	7	8	0,01109	0	4	2	53-127 lókuszok közötti régió	1
CCoAOMT 4	34	166	17	10	0,01414	15	–	–	1-87 lókuszok közötti régió	1
ptk 2/2	21	140	8	8	0,01439	1	4	4	–	1
SAMS 1	22	180	8	9	0,01502	0	7	1	–	4
SKOR 3	21	78	7	10	0,01831	0	7	0	–	10
EC3218	4	597	6	4	0,00532	1	4	2	350-597 lókuszok közötti régió	0
Araf-ase	2	503	1	2	0,00201	1	0	1	–	0
CCoAOMT 5	4	125	0	1	0,00000	1	0	0	v	0
CCoAOMT 1	7	183	6	4	0,01291	4	6	1	1-64 lókuszok közötti régió	0
CCoAOMT 3	4	198	6	7	0,00992	0	5	1	–	1
SAMS 2	4	214	3	4	0,00637	1	2	1	62-214 lókuszok közötti régió	0

DISZKUZZSIÓ

A genetikai markerek különböző egyedek ugyanazon DNS-szekvenciáiban fellépő eltérések detektálásán alapulnak. A már hozzáférhető genom adatbázisok alapján bioinformatikai tervezéssel akár meghatározott enzimefehérjék génjeire is rákereshetünk és különböző genotípusok génszekvenciáit hasonlíthatjuk össze ('candidate gene study'). Kétségtelen, hogy napjainkban már lehetséges akár teljes genomok vagy transzkriptomok elemzése, akár összehasonlítása a nagy áteresztőképességű újgenerációs szekvenálási technológiák (NGS) révén. Ezek az eljárások azonban továbbra is jelentős költségigényűek, különösen nagy mintaszám esetén. Az említett hátrányra való tekintettel, egy nagyobb volumenű munka első lépéseként, olyan új SNP markerek fejlesztését kezdtük el, amelyek egy későbbi – a genotípust a faanyag- és rostszerkezettel összevető – asszociációs vizsgálat alapját képezhetik, a hazánkban gazdaságilag jelentős, már regisztrált vagy ígértes nyár klónok esetében.



Kiindulásként, a faanyag fizikai tulajdonságainak kialakításában meghatározó szerepet betöltő, cellulóz és lignin bioszintézis enzimeit, valamint a MFA alakulásában szerepet játszó fehérjéket és ezek kódoló génjeit térképeztük fel. Az említett enzimeket szakirodalmi adatok alapján választottuk ki, a sejtosztódásra, sejtek expanziójára, sejtfalvastagodásra, a cellulózra, hemicellulózokra, sejtfal fehérjékre, valamint lignin bioszintézisre és lerakódásra, programozott sejthalálra és a geszt képződésére kifejtett hatások alapján. Az enzimek kétszikűekből származó kódoló génszekvenciáit az NCBI adatbázisból töltöttük le és homológiaalapú szekvenciaeresés révén a *Populus trichocarpa* genomi régióiban azonosítottuk. Az azonosított régiókra primereket terveztünk és a *Populus* nemzetség különböző fajain/hibridjein PCR során a kiválasztott régiót enzimatikusan felszaporítottuk. Eredményeink arra engednek következtetni, hogy bizonyos fajon, bizonyos genomi régiókra fejlesztett markerek számos egyéb *Populus* faj és hibrid esetében is jól alkalmazhatóak. A polimorfizmust mutató génlókuszok meghatározása révén a törzs-, illetve faanyagminőség szempontjából releváns gének variabilitásába nyertünk betekintést különböző nyárhibridekben. A nukleotid diverzitás feltárása így különféle funkcionális jellemzőkkel bíró gének szelekcióját is lehetővé teszi (Wright & Andolfatto 2008), illetve a fatestképződés/nyugalmi állapot genetikai szabályozásának jobb megértését is segíti (Brunner et al 2004).

Az általunk vizsgált 188 szekvencia számos esetben tartalmazott indelt (bázisok beékelődését vagy kiesését) a szekvenciamotívumban a különböző genotípusok között. Az indelek hibrid nyárfajták esetében megfigyelt magas száma összefüggésben állhat a genotípusok fenotípusos előnyét meghatározó hibrid vigorral. A szakirodalom szerint ugyanis a hibrid teljesítmény (hibrid fölény vagy vigor) mögött megváltozott géndózis-kapcsolatok állnak. A poliploidok fajok közötti kereszteződések révén jönnek létre (Bradshaw & Stettler 1993), tolerálva az inszerciót/deléciót az eltérő kromoszómakészleteknek köszönhető, egyfajta pufferhatás miatt (Henry et al 2015). Az indel események megjelenése az új fenotípusok kialakulásának fontos genetikai tényezője, azonosításuk jelentős szereppel bír a nemesítés során.

A vizsgálatban kimutatott nem-szinonim SNP-k közül néhány azért lehet különösen fontos, mivel ezek az általuk kódolt fehérje szerkezetét és működését nagymértékben megváltoztathatják, ami eltérő fenotípus kialakulását eredményezheti. A CCoAOMT 4-ben található nem szinonim SNP-k a lignin összetételében és a másodlagos xilém kialakulásában eredményezhetnek változásokat, a káliumcsatorna SKOR kódoló szekvenciájának nem-szinonim SNP-i megváltoztathatják a faanyag kialakulásának K^+ -függő szabályozását, az endo-1,4-b-xilanáz konformációs változásai a MFA és ezáltal egyes fizikai-mechanikai jellemzők eltéréseit eredményezhetik.

Végül, a rekombinációs események feltárása, a fenotípusos változatosságot alapvetően meghatározó genomi régiók kapcsolt vagy éppen független öröklődési módjának azonosításához nyújt segítséget (Olson et al 2010). A jövőbeni genotípus-fenotípus asszociációs vizsgálatok optimális megtervezéséhez a kapcsoltsági viszonyok előzetes felmérése szükséges, amelyhez vizsgálataink jó alapot biztosítanak. Az itt közölt eredmények lehetőséget adnak például egy olyan komplex elemzés jövőbeni elvégzéséhez, amely különböző nyár klónok faanyagát alkotó lignin minőségi és mennyiségi összetételét veti össze, a folyamat genetikai szabályozásában feltárt változatossággal. A mérhető tulajdonságokkal korrelációt mutató genetikai mintázat ezután már a gyakorlati nyárnemesítésben is felhasználhatóvá válna, mint marker asszisztált szelekciós eszköz ('marker assisted selection', MAS). Hasonló módon hasznosítható a MFA-t befolyásoló genetikai háttérmechanizmusok elemzése, a folyamatban specifikusan résztvevő enzimek kódoló régióiban feltárt genetikai mintázat és a különböző nyár klónok esetében detektálható eltérések együttes értékelése révén. Végül pedig, a xylem képződésének folyamatában kulcsfontosságú szerepet játszó K^+ -függő mechanizmusokkal kapcsolatos vizsgálati eredményeink a kambialis aktivitás változásának, illetve hormonális (auxin függő) regulációjának feltárásához is értékes adalékokkal szolgálhatnak (Ache et al 2010).

ÖSSZEFOGLALÁS

Az egyes nemesnyár fajták különböző tényezők (termőhely, kor, genotípus) által befolyásolt faanyagtani tulajdonságainak részletes értékelése kiemelkedő jelentőségű, hiszen az általuk nyert ismeretek alapvetően megszabják az egyes fajták termesztése során alkalmazandó termesztéstechnológiát, valamint faanyagok ipari felhasználási lehetőségeit. Az alacsony sűrűség például jobb hámozhatóságot, az alacsony lignintartalom kedvezőbb papíripari felhasználhatóságot jelenthet. A nemesnyárak esetében a felhasználási terület fajtánként változhat, és a jövőben újabb alkalmazási módok kerülhetnek előtérbe. Tekintettel arra, hogy a nagyobb fatestsűrűségű fajok iránti piaci igény folyamatosan növekszik, azok elérhető mennyisége azonban jellemzően nem változik, a helyettesítésükre alkalmas alapanyagok iránti igény fellendülése várható. A tömörített nyár faanyag a jövőben akár parketta alapanyagként, vagy bútorgyártásra is alkalmazható lesz, kiegészítve vagy helyettesítve így a nagyobb fatestsűrűségű fajok faanyagát a piacon (Rademacher et al 2017).

Az itt bemutatott markerek új típusú elemző eszközként szolgálhatnak a nemesített nyárak faanyagtani jellemzőit meghatározó környezeti/genetikai hatások közül a genetikai komponens mélyebb feltárásához. A hagyományos nyárnemesítés hatékonyságát a marker által támogatott szelekció jelentősen növelheti (Neale & Kremer 2011). Az irányított keresztezés tervezésekor olyan szülői klónok kerülnek kiválasztásra, amelyek a mérvadó faanyagtani tulajdonságaik tekintetében az átlagnál jobb paraméterekkel rendelkeznek. Ugyanakkor a létrehozott utódnemzedék tesztelése, szelekciója kritikusan fontos lépés, mivel egy adott utódnemzedékben belül is jelentős különbségek lehetnek egyes genotípusok között az ipari felhasználhatóságot meghatározó kémiai és fizikai sajátosságokat illetően (Davison et al 2006). Az, akár magonckorban elvégzett, genetikai mintázat alapján történő szelekció révén jelentősen rövidíthető a vizsgálati ciklusidő, és egyúttal csökkenthető a csemetekerti, féléves és üzemi kísérletek költségráfordításának mértéke is.

A faanyagképződés és xylogenezis biokémiai folyamatainak egyre nagyobb mélységű feltárásával egyidőben, a kutatások egyre inkább interdiszciplinárisá válnak, összekapcsolva olyan tudományterületeket, mint a biokémia, anatómia, élettan és genetika, az alkalmazott kutatások meghatározó területeivel (Mizrachi et al 2017). A lignin szerepe újraértékelődik a biopolimer-gyártás rohamos fejlődésével (Glasser 2019, Tribot et al 2019), a mikroanatómiai struktúrák sejtszintű feltárása pedig elősegíti a modifikációs eljárások hatásmechanizmusának még pontosabb feltérképezését és ezáltal a különböző módszerek továbbfejlesztését (Song et al 2018, Báder et al 2019). A faanyag legtöbb mechanikai tulajdonságát nagymértékben meghatározó MFA klónonkénti változatosságának felmérésére pedig a gyors növekedésű, jellemzően rövid vágásfordulójú ültetvényekben alkalmazott fajták esetében érdemes külön figyelmet fordítani (Barnett & Bonham 2004). A MFA értékében változás áll be a faanyagok juvenilis fából érett fává történő fejlődése során, amely kisebb lefutási szöveget és jobb mechanikai paramétereket eredményez. A gyors növekedésű ültetvényekből kikerülő faanyag esetében a juvenilis fa aránya nagyobb, így ennek a tényezőnek a faanyag minőségére gyakorolt hatását célszerű szem előtt tartani. A nemesnyárak ültetvényszerű termesztéstechnológiájának egy másik fontos alappillére az optimális termőhely kiválasztása, illetve a termesztés szempontjából még elfogadható, határtermőhelyek felmérése. A faanyagképződés K^+ -függő folyamatainak feltárása, illetve a klonális eltérések kimutatása segítséget nyújthat ezen szélsőséges termőhelyek esetében a megfelelő biztonsággal termesztendő fajta vagy akár fajtákör meghatározásában, illetve célzott szelektálásában.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A furatminták gyűjtésében Takács Roland csemetekertvezető kollégánk (NAIK ERTI) volt a segítségünkre. A PCR termékek szekvenálását a gödöllői székhelyű Biomi Kft. végezte. A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel – az agrárerdészet mint új kiterjesztési lehetőség”) projekt támogatta a Széchenyi2020 program keretében. A projekt megvalósítását az Európai Unió támogatja, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával.



FELHASZNÁLT IRODALOM

- Ache P., Fromm J. & Hedrich R. 2010: Potassium-dependent wood formation in poplar: Seasonal aspects and environmental limitations. *Plant Biology* 12(2): 259–267. doi: 10.1111/j.1438-8677.2009.00282.x.
- Tribot A., Amer G., Alio M. A., de Baynast H., Delattre C., Pons A., Mathias J.-D., Callois J.-M., Vial C., Michaud P. & Dussap C.-G. 2019: Wood-lignin: Supply, extraction processes and use as bio-based material. *European Polymer Journal* 112: 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.01.007>.
- Arend M., Stinzing A., Wind C., Langer K., Latz A., Ache P. & Hedrich R. 2005: Polar-localised poplar K+channel capable of controlling electrical properties of wood-forming cells. *Planta* 223(1): 140–148. doi: 10.1007/s00425-005-0122-y.
- Báder M., Németh R. & Konnerth J. 2019: Micromechanical properties of longitudinally compressed wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 77: 341–351. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01392-0>
- Bak M. & Németh R. 2012: Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil-heat-treated poplar (*Populus x euramericana* cv. Pannonia) wood. *BioResources* 7(4): 5128–5137.
- Barnett J.R. & Bonham V.A. 2004: Cellulose microfibril angle in the cell wall of wood fibres. *Biological Reviews* 79: 461–472.
- Bradshaw H. D. & Stettler R. E. 1993: Molecular genetics of growth and development in *Populus*. In: Triploidy in hybrid poplars. *Theoretical and Applied Genetics* 86: 301–302.
- Brunner A. M., Busov V. B. & Strauss S. H. 2004: Poplar genome sequence : functional genomics in an ecologically dominant plant species. *Trends in Plant Science* 9(1): 49–56. doi: 10.1016/j.tplants.2003.11.006.
- Christensen J. H., Baucher M., O'Connell A., Van Montagu M. & Boerjan W. 2000: Control of lignin biosynthesis. *Molecular biology of woody plants*. Dordrecht, Springer: 227–228.
- Davison B. H., Drescher S. R., Tuskan G. A., Davis M. F. & Nghiem N. P. 2006: Variation of S/G Ratio and Lignin Content in a *Populus* Family Influences the Release of Xylose by Dilute Acid Hydrolysis. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 129-132: 427–435.
- Donaldson L. 2008: Microfibril angle: Measurement, variation and relationships—A review. *International Association of Wood Anatomists Journal* 29: 345–386.
- Dumolin S., Demesure B. & Petit R. J. 1995: Inheritance of chloroplast and mitochondrial genomes in pedunculate oak investigated with an efficient PCR method. *Theoretical and Applied Genetics* 91(8): 1253–1256. doi: 10.1007/BF00220937.
- Evans R. & Illic J. 2001: Rapid prediction of wood stiffness from microfibril angle and density. *Forest Products Journal* 51: 53–57.
- Fromm J. 2010: Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. *Tree Physiology* 30(9): 1140–1147. doi: 10.1093/treephys/tpq024.
- Geisler-Lee J., Geisler M., Coutinho P. M., Segerman B., Nishikubo N., Takahashi J. & Sundberg B. 2006: Poplar carbohydrate-active enzymes. Gene identification and expression analyses. *Plant Physiology* 140(3): 946–962. doi: 10.1104/pp.105.072652.
- Gençsi L. & Vancsura R. 1992: Dendrológia – Erdészeti Növénytan II. *Mezőgazda Kiadó, Budapest*: 29, 330.
- Glasser W.G. 2019: About Making Lignin Great Again – Some Lessons From the Past. *Frontiers in Chemistry* 7: 565. doi: 10.3389/fchem.2019.00565
- González-Martínez S. C., Krutovsky K. V. & Neale D. B. 2006: Forest-tree population genomics and adaptive evolution. *New Phytologist* 170: 227–238.
- Hall T. A. 1999: BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series* 41 (41): 95–98. doi: citeulike-article-id:691774.
- Halpin C. 2004: Re-designing lignin for industry and agriculture. *Biotechnology and Genetic Engineering* 21(1): 229–248. doi: 10.1080/02648725.2004.10648057.
- Henry I. M., Zinkgraf M. S., Groover A. T. & Comai L. 2015: A system for dosage-based functional genomics in poplar. *The Plant Cell* 27(9): 2370–2383. doi: 10.1105/tpc.15.00349.

- Horváth N., Bak M. & Németh R. 2012: Modification of poplar wood by different heat treatments. Poster presentation, 7. Thermowood Workshop, Drezda, 2012.04.26-27.
- Isabel N., Lamothe M. & Thompson S. L. 2013: A second-generation diagnostic single nucleotide polymorphism (SNP)-based assay, optimized to distinguish among eight poplar (*Populus* L.) species and their early hybrids. *Tree Genetics and Genomes* 9(2): 621–626. doi: 10.1007/s11295-012-0569-5.
- Komán Sz. 2012: Nemesnyár-fajták korszerű ipari és energetikai hasznosítását befolyásoló faanatómiai és fizikai jellemzők. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 85 p.
- Köbölkuti Z., Cseke K., Benke A., Báder M., Borovics A. & Németh R. 2019: Allelic variation in candidate genes associated with wood properties of cultivated poplars (*Populus*), *Biologia Futura* 70(4): 286-294.
- Lampugnani E.R., Khan G.A., Somssich M. & Persson S. 2018: Building a plant cell wall at a glance. *Journal of Cell Science* 131(2), jcs207373. <https://doi.org/10.1242/jcs.207373>
- Langer K., Ache P., Geiger D. et al. 2002: Poplar potassium transporters capable of controlling K⁺ homeostasis and K⁺-dependent xylogenesis. *The Plant Journal* 32(6): 997-1009. doi:10.1046/j.1365-313x.2002.01487.x
- Li L., Lu S. & Chiang V. 2006: A genomic and molecular view of wood formation. *Critical Reviews in Plant Sciences* 25(3): 215–233. doi: 10.1080/07352680600611519.
- McFarlane H.E., Doring A. & Persson S. 2014: The cell biology of cellulose synthesis. *The Annual Review of Plant Biology* 65: 69–94.
- Meents M.J., Watanabe Y. & Samuels A.L. 2018: The cell biology of secondary cell wall biosynthesis. *Annals of Botany* 121: 1107–1125.
- Mellerowicz E. J. & Sundberg B. 2008: Wood cell walls: biosynthesis, developmental dynamics and their implications for wood properties. *Current Opinion in Plant Biology* 11(3): 293–300. doi: 10.1016/j.pbi.2008.03.003.
- Mizrachi E., Verbeke L., Christie N. et al. 2017: Network-based integration of systems genetics data reveals pathways associated with lignocellulosic biomass accumulation and processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114. 201620119. 10.1073/pnas.1620119114.
- Mutwil M., Debolt S. & Persson S. 2008: Cellulose synthesis: a complex. *Current Opinion in Plant Biology* 11(3): 252–257. doi: 10.1016/j.pbi.2008.03.007.
- Neale D. B. & Kremer A. 2011: Forest tree genomics: growing resources and applications. *Nature Reviews Genetics* 12: 111-122.
- Oakley R. V., Wang Y. S., Ramakrishna W., Harding S. A. & Tsai C. J. 2007: Differential expansion and expression of alpha- and beta-tubulin gene families in *Populus*. *Plant Physiology* 145(3): 961–973. doi: 10.1104/pp.107.107086.
- Olson M. S., Robertson A. L., Takebayashi N., Silim S., Schroeder W. R. & Tiffin P. 2010: Nucleotide diversity and linkage disequilibrium in balsam poplar (*Populus balsamifera*). *New Phytologist* 186: 526–536.
- Plomion C., Leprovost G. & Stokes A. 2001: Wood formation in trees. *Plant Physiology* 127(12): 1513–1523. doi: 10.1104/pp.010816.1.
- Rademacher P., Báder M., Németh R., Rousek R., Paril P., Baar J., Hornicek S., Dejmal A., Domyen J., Kudela J., Kutnar A., Neyses B. & Sandberg D. 2017: European co-operation in wood research – from native wood to engineered materials. Part 2: densification modification in product development. In: Gurau L., Campean M., Ispas M. (eds): *Proceedings of the International Conference Wood Science and Engineering in the Third Millennium (ICWSE 2017)*. Transilvania University, Brasov, Romania, 02-04.11.2017.: 469-478. (ISSN 1843-2689).
- Song J., Chen C., Zhu S. et al. 2018: Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature* 554: 224–228. <https://doi.org/10.1038/nature25476>
- Takab, K., Takeuchi M., Sato T., Ito M. & Fujita M. 2001: Immunocytochemical localization of enzymes involved in lignification of the cell wall. *The Journal of Plant Research* 114: 509–515. doi: 10.1007/PL00014018.
- Tenney A. E., Wu J. Q., Langton L., Klueh P., Quatrano R. & Brent M. R. 2007: A tale of two templates : Automatically resolving double traces has many applications, including efficient PCR-based elucidation of alternative splices. *Genome Research* 17(2): 212–218. doi: 10.1101/gr.5661407.5.



- Vander Mijnsbrugge K., Meyermans H., Van Montagu M., Bauw G. & Boerjan W. 2000: Wood formation in poplar: identification, characterization, and seasonal variation of xylem proteins. *Planta* 210(4): 589–598. doi: 10.1007/s004250050048.
- Wright S. I. & Andolfatto P. 2008: The impact of natural selection on the genome: emerging patterns in *Drosophila* and *Arabidopsis*. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 39: 193–213. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173342.
- Zhong R. & Ye Z. H. 2007: Regulation of cell wall biosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology* 10(6): 564–572. doi: 10.1016/j.pbi.2007.09.001.

Érkezett: 2020. június 05.
Közlésre elfogadva: 2020. július 08.

FAANYAGOK HŐVEZETÉSI TULAJDONSÁGAINAK VÁLTOZÁSA A TERMIKUS KEZELÉS HATÁSÁRA

Börcsök Zoltán és Pásztor Zoltán

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Kar, Innovációs Központ

Kivonat

Kutatásunk célja a különböző időtartamú hőkezelés és néhány fizikai, valamint a hővezetési tulajdonságok közötti összefüggések detektálása. A vizsgálatok során lucfenyő (*Picea abies*), Pannónia nyár (*Populus × euramericana* cv. Pannónia) és gumifa (*Hevea brasiliensis*) faanyagot 180 °C-on 15, 25 és 35 órás hőkezelésnek vetettünk alá. Méréseink igazolták, hogy a hőkezelt anyagból készült próbatestek egyensúlyi fanedvessége, sűrűsége és hővezetési tényezője alacsonyabb, mint a kezeletlen mintadaraboké. Az átlagos nettó egyensúlyi nedvességtartalom a kezdeti 12% körüli értékről mind a három fafaj, mindhárom kezelési idejében 6% körüli értékre csökkent. A sűrűség csökkenése 15, 25, illetve 35 órányi kezelés után nyár esetében rendre 9,1, 12,1, illetve 13,4%, lucnál 5,2, 7,6 és 8,7%, gumifánál pedig 3,5, 5,1 és 7,1%. A sűrűség csökkenése 15, 25, illetve 35 órányi kezelés után nyár esetében rendre 17,0, 24,2, 25,2%, lucnál; 8,5, 11,6, 19,2%, gumifánál pedig 3,6, 4,1, és 8,0%. Irodalmi adatokkal alátámasztható, hogy a hőkezelés által a faanyag egyensúlyi fanedvessége és sűrűsége csökken, mely magyarázza az alacsonyabb hővezetési tényezőt az azonos alapanyagból készült kontroll mintadarabhoz képest.

Kulcsszavak: hőkezelés, faanyag, hővezetés, sűrűség, egyensúlyi fanedvesség

CHANGES IN THE HEAT CONDUCTING PROPERTIES OF WOOD MATERIALS AS A RESULT OF THERMAL TREATMENT

Abstract

The aim of the research is to detect correlations between the heat treatment of wood at different durations and some of its physical properties and thermal conductivity. During the experiments, spruce (*Picea abies*), Pannonia poplar (*Populus × euramericana* cv. Pannonia) and rubber wood (*Hevea brasiliensis*) were subjected to heat treatment at 180°C for 15, 25 and 35 hours. Measurements confirmed that the equilibrium moisture content, the density and the thermal conductivity of the specimens made of heat-treated material were lower than those of the untreated specimens. The average equilibrium moisture content decreased from an initial value of around 12% to around 6% during the treatments in case of all three tree species. The decrease in density after 15, 25 and 35 hours of treatment was 9.1, 12.1 and 13.4% for poplar, 5.2, 7.6 and 8.7% for spruce and 3.5, 5.1% and 7.1% for rubber wood, respectively. The decrease in density after 15, 25 and 35 hours of treatment was 17.0, 24.2, 25.2% for poplar, 8.5, 11.6, 19.2% for spruce and 3.6, 4.1, and 8.0% for rubber wood, respectively. Literature data supports that heat treatment decreases the equilibrium wood moisture and density of the wood which explains the lower thermal conductivity compared to the control sample made from the same raw material.

Keywords: thermal treatment, wood, thermal conductivity, density, equilibrium moisture content



BEVEZETÉS

A faanyagtudomány szinte külön szakterületként tárgyalt ága a faanyag-modifikáció. Faanyag modifikálásán Bosshard (1984) szerint olyan módosító eljárás alkalmazását értjük, mely megváltoztatja a faanyag konstitúcióját azzal a céllal, hogy a felhasználás szempontjából a faanyag előnyös, új tulajdonságokra tegyen szert és ezzel alkalmazási területét szélesítse, új termékek előállítását biztosítsa. Az eljárások között a szakirodalom külön tárgyalja a kémiai és az úgynevezett termikus modifikációt. A faanyagok hőkezelésének története a múlt századra nyúlik vissza, számos kutató foglalkozott a téma különböző aspektusaival (Tiemann 1920, Stamm & Hansen 1937, Stamm et al 1946, Kollmann et al 1958, 1963, 1969, Burmester 1973, 1974a, 1974b stb.). A finn ThermoWood sikereinek köszönhetően a tudományos kutatómunka a kilencvenes évektől ismét a fókuszába helyezte a faanyagok hőkezelését.

A hőkezelés kezdetén a faanyag száradása következtében a sejtfalakban fellépő zsugorodás szerkezeti változást eredményez (Fengel 1966, Fengel & Wegener 1989), és mikrorepedéseket okoz (Terziev & Daniel 2002, Hanhijärvi et al 2003). A repedésképződés mellett a sejtfal porozitása is megváltozik. A korai pásztaban a pórústérfogat csökken, míg a késeiiben növekszik (Fengel 1966). Ez összességében pórusszám (Laganá et al 2006), ill. pórústérfogat növekedést is (Vernois 2001, Omidvar et al 2001, Klose & Schinkel 2002) jelent. Az 1 μm átmérő alatti pórusok száma csökken, míg az 1 μm átmérő feletti pórusok száma növekszik (Junghans et al 2005). A sejtfal mikroszkopikus szövetrendszerének hő hatására bekövetkező szerkezeti változása nem szignifikáns (Krzyszewska et al 2006, Sehlstedt-Persson et al 2006)

A hőkezelés hatására növekszik a faanyag dimenzióstabilitása, növekszik a bazídiumos gombákkal és egyéb farontó mikroorganizmusokkal szembeni ellenálló-képessége (Hillis 1984, Giebel 1983, Welzbacher & Rapp 2002). A tartósság növekedés az egyes szilárdági értékek erős csökkenésével jár együtt (Seborg et al 1953, Jämsä & Viitaniemi 1998, Vernois 2001, Welzbacher & Rapp 2002). A termikus modifikáció a faanyag térfogatcsökkenése mellett tömegcsökkenéssel is jár, mely utóbbi intenzívebb, mint a volumenkontrakció, így a sűrűség csökken (Kubojima et al 1998, Santos 2000). A hővezető-képesség csökkenése szintén megfigyelhető (Jämsä & Viitaniemi 2001). A faanyag tulajdonságainak változása szoros összefüggésben áll a kezelési hőmérséklettel és időtartammal (Rapp et al 2003, Nuopponen et al 2003), valamint a kezeléskor jelenlévő oxigén mennyiségével és a faanyag nedvességével (Stamm et al 1946, Patzelt et al 2003).

A hővezetési tényező az építőiparban használt alapanyagok sokféleségének megfelelően tág határok közt változik – a szigetelő habok $\lambda = 0,03 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ értékétől az alumínium $\lambda = 200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ értékéig. Az építési célra használt faanyagok rostra merőleges irányban 0,12–0,15 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ hővezetési tényezővel rendelkeznek, míg rostirányban az érték ennek akár kétszerese is lehet. Mivel a különböző épületekben jelentős mennyiségű faanyag lehet jelen, fontos tudni a különböző fatermékek, faanyagok hőtani tulajdonságait is (TenWolde et al 1988, Kumaran et al 2003). A faanyag hővezetési tulajdonságainak és azok más tulajdonságoktól való függésének ismerete elsősorban hőszigetelés, szárítás, pasztifikálás, ragasztás témakörökben fontos, illetve olyan esetekben, amikor a faanyag hőellenállása fontos tényező (Kol 2009, Kol et al 2010). Mivel a faanyag anizotróp anyag, a hővezetése függ a hőáramlás irányától, a környezet hőmérsékletétől, a sűrűségtől, a faanyagban lévő hibáktól, valamint függ a faanyag nedvességtartalmától is (Grønli 1996, Suleiman et al 1999, Gupta et al 2003, Kol 2009a, 2009b, Korkut et al 2013). A hőmérséklet emelkedésével a faanyag hővezető képessége növekszik (Santos 2000, Kortelainen et al 2006). Nem elhanyagolható, hogy a faanyagot kezelték-e valamilyen védőszerrel, mert ez általában növeli a hővezetést (Uysal et al 2008, Kol & Altun 2009).

A faanyag hővezetési tényezőjének változásáról viszonylag kevesen értekeztek, bár több kutatás is beszámolt a hőkezelt faanyag növekvő hőszigetelő képességéről, de ennek kezelési hőmérséklet függéséről kevés szó esik (Kol & Sefil 2011). Mint tudjuk, a hőkezelés hatására az egyensúlyi fanedvesség csökken (Gündüz et al 2008), mely azzal van összefüggésben, hogy a kezelés hatására csökkennek a faanyagban a hidrofíll oldalláncok, főként a szénhidrátok hidroxilcsoportjainak mennyisége és „koncentrációja”, így csökken a faanyag víz

abszorbeáló képessége, és annak dinamikája visszaesik. A kisebb vízmennyiség pedig gyengébb hővezetést eredményez (Homan et al 2000, Hinterstoisser et al 2003, Gündüz et al 2008). A hőkezelés hatására a sűrűség is csökken, melynek hatására a hővezetés ugyancsak csökken (Gündüz et al 2008), valamint a fent említett pórustérfogat növekedés is a hővezetés csökkenésében játszik szerepet.

Kol & Sefil (2011) kaukázusi jegenyefenyőt és bükköt azonos időtartamú, de különböző hőmérsékletű (170, 180, 190, 200, 212°C) hőkezelésnek vetették alá, és vizsgálták a hővezetés, a sűrűség, az egyensúlyi fanedvesség változását. Mindkét faj esetében a hővezetés csökkenését figyelték meg. Ugyancsak megállapították, hogy sűrűség esetében a lombos fajokhoz tartozó bükk esetében a csökkenés nagyobb mértékű, míg a hővezetésnél a sűrűséggel találtak szoros összefüggést. Korkut et al (2013) hőkezelt madárcseresznye faanyag hővezetését vizsgálták radiális és tangenciális irányban, megállapítva, hogy a két érték közel azonos, illetve a növekvő hőkezelési idővel a hővezetési tényező arányosan csökken.

Az ültetvényes fatermesztés egyre nagyobb jelentőséget kap hazánkban. Az új erdőterületek jelentős százalékát a nemes nyárok foglalják el, Magyarországon évente 1 millió köbméter körüli nyárfát termelnek ki. Hazánk jelentős mennyiségű, minőségi nyár alapanyaggal rendelkezik, ami lehetővé teszi, hogy olyan területeken is alkalmazzák, ahol eddig mellőzték felhasználását. A nyár kísérleti vizsgálatai is alátámasztják, hogy bővíteni kívánják építő- és asztalosipari alkalmazását (Isebrands & Richardson 2014). Ugyanakkor a faépítészetben ma leginkább a fenyőféléket alkalmazzák, így a kutatás során a vizsgálatok kontrolljaként lucfenyőt alkalmaztunk. Az alacsony sűrűségű nagy pórustérfogatú nyár kedvező hőszigetelési tulajdonságokkal bír, és a termikus kezelés által tartóssága, valamint esztétikai megjelenése is javítható. A fentiek miatt a vizsgálataink alapanyaga a Pannónia nyár (*Populus × euramericana* cv. *Pannonia*), mely kedvező alaki és fizikai tulajdonságú, illetve összehasonlításként a lucfenyő (*Picea abies* (L.) H. Karst.), mivel vizsgálataink eredményeit elsősorban szerkezeti alapanyagokra vonatkoztatjuk.

A gumifa vagy kaucsukfa (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.) a világ faültetvényeinek 18%-án található meg (ITTO 2009; Shigematsu et al 2011). Ezeket az ültetvényeket gumi latex termelésére hozták létre, a kitermelhető latex mennyisége azonban 25–30 év után csökkenni kezd, és új ültetvényt létesítenek (Killmann & Hong 2000). Évente hatalmas mennyiségű gumifa faanyag keletkezik, melynek hasznosítása csak részben megoldott, pl. a farontó szervezetek szembeni gyenge ellenállása miatt (Balsiger et al 2000, Zhou et al 2007). A harmadik vizsgált fajunk így a gumifa lett.

Ebben a tanulmányban a hőkezelés időtartamának hatását vizsgáltuk meg és hasonlítottuk össze a fenti három faj (két hazai és egy trópusi) esetében.

RÖVIDÍTÉSEK

EMC – Egyensúlyi fanedvesség (Equilibrium moisture content)

VOC – Illékony szerves vegyületek (Volatile organic compounds)

ANYAG ÉS MÓDSZER

A luc és nyár minták a TAEG Zrt. soproni Fafeldolgozó Üzeméből származnak, a gumifa mintákat Suthon Srivaro biztosította a thaiföldi Nakhon Si Thammarat provinciából.

A mérésekhez 18–18 db próbatestet készítettünk mindhárom fajfajból. A natúr próbatestek mérete 200×200×20 mm volt, a minták úgy kerültek kialakításra, hogy a hőáram a rostokra merőleges legyen. A kezdeti feltételeket egységesítve, a mintadarabokat, klímakamrában, normál klímán tároltuk (20 °C, 65%) négy hétig, mértük a tömegét (0,1 g érzékenységgel), dimenzióit (mm pontossággal), melyekből számítottuk a sűrű-



seget, valamint nedvességmérővel (Gann Hydromette M4050) ellenőriztük a nedvességtartalmát (0,1% pontossággal). Ezeket a méréseket a hőkezelés után is megismételtük.

A próbatestek hőkezelésénél 3 különböző menetrendet alkalmaztunk, a hőmérséklet mindhárom esetben 180 °C volt, a kezelések hossza (hőntartás) 15, 25 és 35 óra. A felfűtési menetrend szerint 5 óra alatt 90 °C-ra, majd újabb 5 óra alatt 130 °C-ra melegítettük a próbatesteket, a 180 °C-ot további 2 óra alatt értük el. A kezdeti mértékletes felfűtésre a nedvesség eltávozása miatt volt szükség, megkímélve a faanyagot a repedésektől. A lehűtésnél pedig a próbatestek és a kezelő berendezés hőtehetetlenségét használtuk ki, amelyek így mintegy 15 óra alatt hűltek ki 25 °C-ra.

A Soproni Egyetem Simonyi Károly Kar Innovációs Központjának laboratóriumában az egyes kezeletlen próbatestek hővezetési tényezőjének mérése egy erre kialakított, egyedi mérőegység segítségével történt. A meleg (15 °C) és a hideg (5 °C) oldal között állandó 10 °C körüli hőmérsékletkülönbséget biztosítottunk. Hőárammérő segítségével a fűtött meleg oldal és a mért hideg oldal közötti hőmérsékletkülönbségből és a fellépő hőáramból határozható meg a hővezetési tényező. A mérési adatgyűjtés és rögzítés percenként történt. A mérést akkor tekintettük befejezettnek, amikor az utolsó 50 adat szórása a 0,002 W·m⁻¹·K⁻¹ értéken belül volt. A hővezetést az (1) egyenlet alapján számítottuk.

$$\lambda = \frac{d \cdot \Phi_q}{\Delta T} \quad (1)$$

ahol

λ a hővezetés (W·m⁻¹·K⁻¹),

Φ_q a hőáram (W·m⁻²),

ΔT a mintadarab két oldalán a hőmérséklet-különbség (K),

'd' a minta vastagsága (m).

Ezt követte a fenti menetrendek szerint az egyes próbatestek hőkezelése. A hőkezelés után ismét – a hőkezelésből adódó deformációk miatt – a vastagsági méretet egységesen 15 mm-re csökkentettük, valamint a próbatesteket ismétlen klímakamrában tároltuk. Így a vizsgálat egyazon alapanyagon történt, a hővezetési tényezőt ugyanazon próbatesten mértük kezeletlen és hőkezelt állapotban, s ezzel kizárhattuk a fa anatómiai szerkezetéből eredő különbségeket. Vizsgáltuk a hőkezelés hatására bekövetkező sűrűségbeli, egyensúlyi fanedvességbeli és hővezetésbeli különbségeket abszolút értékben, és a kiindulási értékek bázisán számított százalékos értékben is.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Mindhárom kezelés hatással volt mind a fenyő, mind a nyár és gumifa mindhárom vizsgált tulajdonságára (1. táblázat).

Az átlagos nettó egyensúlyi nedvességtartalom (EMC) a kezdeti 12% körüli értékről mind a három faj, mindhárom kezelési idejében mintegy felére, 6% körüli értékre csökkent. Vagyis a kezelési idő hosszának ebben az esetben nem volt számottevő hatása, bár a növekvő idővel csökkenő EMC figyelhető meg, ezek között számottevő különbség nincs. A vízmegkötő képesség csökkenése azzal magyarázható, hogy a hőkezelés hatására csökken a hidroxil (–OH) csoportok száma – főként a hemicellulózokon –, valamint a cellulózban csökken az amorf régió aránya, ami csökkenti a cellulóz és hemicellulóz közötti és a légköri vízzel kialakított hidrogénkötések számát (Boonstra & Tjeerdsma 2006, Hill 2006, Xu et al 2019).

A sűrűség esetében is azt mondhatjuk el, hogy abszolút értékben a sűrűség csökkenése ugyanabban a tartományban mozog mindhárom fafajnál: –0,025 – –0,055 g·cm⁻³ és egy fajon belül a kezelési idő növekedésével a sűrűség is egyre nagyobb mértékben csökken. Ugyanakkor, mivel a kiindulási sűrűségekből jelentős

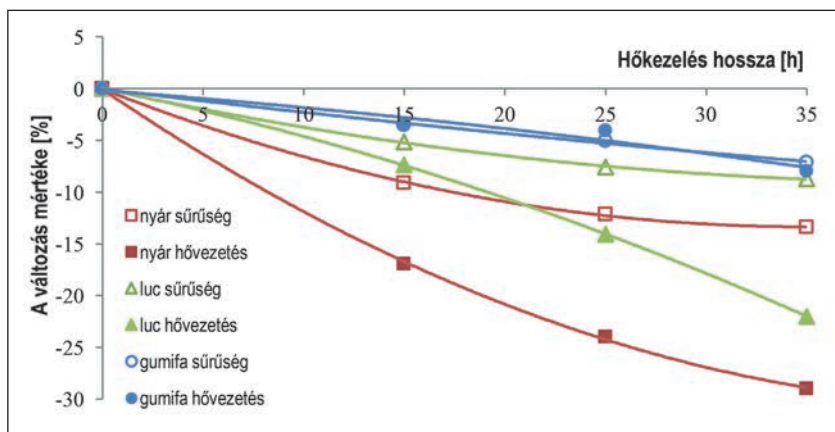
különbég volt, a kiindulási alapon számított relatív csökkenés is jelentősen eltérő. A nyár esetében 15, 25, illetve 35 órányi kezelés után rendre 9,1, 12,1, illetve 13,4%-kal csökkent a sűrűség. Luc esetében ezek az értékek 5,2, 7,6 és 8,7%, gumifánál pedig 3,5, 5,1 és 7,1% (1. ábra).

1. táblázat: Pannónia nyár, lucfenyő és gumifa próbatestek átlagos nettó nedvességtartalma (u [%]), hővezetési tényezője (λ [$Wm^{-1}K^{-1}$]) és normál sűrűsége (ρ [g/cm^3]) a kezeléseik előtt és után, valamint a változások mértéke százalékban a kiindulási értékek bázisán
 Table 1: The average net moisture content (u [%]), thermal conductivity (λ [$Wm^{-1}K^{-1}$]) and normal density (ρ [g/cm^3]) of Pannonian poplar, spruce and rubberwood specimens before and after treatments, and the percentage of change based on initial values

		Kiindulási értékek			Hőkezelés után								
		u_0 [%]	λ_0 [W/mK]	ρ_0 [g/cm^3]	u_1 [%]	Δu [%]	$u_{\%}$ [%]	λ_1 [W/mK]	$\Delta \lambda$ [W/mK]	$\lambda_{\%}$ [W/mK]	ρ_1 [g/cm^3]	$\Delta \rho$ [g/cm^3]	$\rho_{\%}$ [g/cm^3]
Pannónia nyár	15 h	11,4 ($\pm 0,4$)	0,1035 ($\pm 0,0032$)	0,340 ($\pm 0,014$)	6,8 ($\pm 0,4$)	-4,6	-40,1	0,0859 ($\pm 0,0028$)	-0,0176	-17,0	0,309 ($\pm 0,010$)	-0,031	-9,2
	25 h	12,4 ($\pm 0,5$)	0,1078 ($\pm 0,0084$)	0,398 ($\pm 0,033$)	6,1 ($\pm 0,2$)	-6,3	-50,8	0,0818 ($\pm 0,0051$)	-0,0261	-24,2	0,350 ($\pm 0,029$)	-0,048	-12,2
	35 h	11,9 ($\pm 0,2$)	0,1044 ($\pm 0,0037$)	0,407 ($\pm 0,002$)	5,9 ($\pm 0,1$)	-5,9	-49,9	0,0781 ($\pm 0,0045$)	-0,0263	-25,2	0,353 ($\pm 0,006$)	-0,055	-13,4
Lucfenyő	15 h	12,7 ($\pm 0,4$)	0,0911 ($\pm 0,0030$)	0,410 ($\pm 0,012$)	8,0 ($\pm 0,1$)	-4,7	-37,0	0,0834 ($\pm 0,0012$)	-0,0077	-8,5	0,385 ($\pm 0,005$)	-0,025	-6,2
	25 h	11,9 ($\pm 0,4$)	0,1093 ($\pm 0,0177$)	0,467 ($\pm 0,057$)	7,2 ($\pm 0,3$)	-4,7	-39,6	0,0966 ($\pm 0,0154$)	-0,0127	-11,6	0,431 ($\pm 0,048$)	-0,036	-7,7
	35 h	11,7 ($\pm 0,2$)	0,1251 ($\pm 0,0018$)	0,520 ($\pm 0,011$)	6,6 ($\pm 0,2$)	-5,1	-43,4	0,1011 ($\pm 0,0080$)	-0,0240	-19,2	0,475 ($\pm 0,012$)	-0,045	-8,7
Gumifa	15 h	11,8 ($\pm 0,4$)	0,1341 ($\pm 0,0086$)	0,685 ($\pm 0,043$)	6,6 ($\pm 1,1$)	-5,2	-44,1	0,1293 ($\pm 0,0061$)	-0,0048	-3,6	0,661 ($\pm 0,0039$)	-0,024	-3,5
	25 h	12,1 ($\pm 0,4$)	0,1351 ($\pm 0,0088$)	0,691 ($\pm 0,037$)	5,8 ($\pm 1,0$)	-6,3	-52,1	0,1296 ($\pm 0,0047$)	-0,0055	-4,1	0,656 ($\pm 0,0036$)	-0,035	-5,1
	35 h	12,3 ($\pm 0,3$)	0,1382 ($\pm 0,0049$)	0,675 ($\pm 0,022$)	5,5 ($\pm 0,6$)	-6,8	-55,3	0,1272 ($\pm 0,0067$)	-0,0110	-8,0	0,627 ($\pm 0,0024$)	-0,048	-7,1

A nyárnál tapasztalható a legnagyobb, a gumifánál a legkisebb relatív sűrűségcsökkenés mindhárom kezelési idő esetén. Ugyancsak elmondható, hogy mindhárom faj esetében a kezelési idő növekedésével a sűrűség csökkenése egyre kisebb, a görbe ellaposodik, hasonlóan más kutatók eredményeihez (pl. Esteves & Periera 2009, Xu et al 2019). Zaman et al (2000) hasonlóan azt tapasztalták, hogy azonos körülmények között a *Pinus sylvestris* L. tömegvesztése kisebb, mint a *Betula pendula* Roth tömegvesztése, vagyis a nyitvatermő tömegvesztése kisebb, mint a lombos fajajé.

Alacsony hőmérsékleteken (160 °C-ig) a tömegvesztés főként a szabad és kötött víz távozásával magyarázható (Lin et al 2018). 160 °C feletti hőmérsékleten először a hemicellulóz degradációjával magyarázható a tömegvesztés (Hill 2006, Čabalová et al 2018), mert a sejtfalalkotó anyagok közül ennek a legkisebb a hőstabilitása. Főként kis molekulatömegű anyagok távoznak a faanyagból: H₂O, CO, CO₂, CH₄ és VOC-k (Xu et al 2019). Magasabb hőmérsékleteken (200–220 °C felett) már a többi sejtfalalkotó (lignin, cellulóz) kisebb mértékű bomlása is szerepet játszik. 160 és 200 °C között az acetilsoportok mennyiségének csökkenése jellemző, melynek következtében csökken a hidroxilsoportok száma, a faanyag erőteljesebben hidrofóbbá válik (Boonstra & Tjeerdsma 2006, Yang et al 2007). Kisebb mértékben a karbonil-, karboxil- és metilsoportok mennyisége is csökken, valamint a cellulóz és hemicellulózok alifás régióinak, a lignin gyűrűinek degradációja is kimutatható (Hill 2006, Yang et al 2007, Xu et al 2019).



1. ábra: A nyár, luc és gumifa sűrűségének és hővezetésének relatív változása a kiindulási értékek bázisán, a hőkezelés időtartamának függvényében

Figure 1: Relative change of density and heat conduction of poplar, spruce and rubberwood on the basis of initial values, depending on the duration of heat treatment

A nyitvatermők és zárvatermők hemicellulóz összetételében több eltérés van, pl. a zárvatermők hemicellulóz egységei sokkal több acetilcsoportot hordoznak, mint a nyitvatermőké. Az acetilcsoportok egy része a hőkezelés során felszabadul, ecetsav keletkezik belőle és katalizálja a hemicellulóz és az amorf cellulóz további bomlását, furfurool származékok keletkeznek, melyek részben távoznak a fából (Chaouch et al 2010). Ezzel magyarázzák a zárvatermők és a nyitvatermők degradációjának eltérő mértékét. Ugyanakkor a különbségek nem magyarázhatók ilyen egyszerűen, hiszen a kísérletünkben a gumifa zárvatermőként jóval kisebb arányú tömegvesztést szenvedett, mint a luc. Chaouch et al (2010) szerint a különbségek magyarázatába más fizikai, kémiai tulajdonságokat is be kell vonni, tapasztalataik szerint pl. a nagyobb sűrűségű faanyagok nagyobb relatív tömegvesztést szenvedtek, ami viszont ellentétes az itt tapasztaltakkal. Más vizsgálatok szerint további kémiai tulajdonságok is befolyásolják a faanyag hőstabilitását. Poletto et al (2012) azt találták, hogy a cellulóz alacsonyabb kristályossága elősegíti a faanyag hőbomlását. Azt is kimutatták, hogy a magasabb extraktanyag-tartalom nagyobb mértékű hőbomlást eredményez (Shebani et al 2008, Poletto et al 2012, Poletto 2016). Ezzel azonban nem magyarázhatjuk a nyár és a gumifa eltérő viselkedését, hiszen a gumifának nagyobb az extraktum tartalma (2,7–10,9%) (Simatupang et al 1994, Wagenführ 2006, Okino et al 2010, Severo et al 2013, Riyaphan et al 2015, Severo et al 2016), mint a nyáraknak, köztük a Pannónia nyárnak (1,5–6,9%) (Lengyel 1961, Wagenführ 2006, Kačik et al 2012, Zamora et al 2013). Így ennek magyarázata további vizsgálatokat igényel.

A kiindulási hővezetési tényező már az egyes fajokban, illetve fajon belüli csoportokban is eltért némelyik esetben. A Pannónia nyár és a gumifa három hőkezelési csoportjai között mind a sűrűség, mind a hővezetés viszonylag homogén, az értékek egymáshoz közeliek. Ehhez képest a luc kiindulás hővezetési tényezője és sűrűsége már kiinduláskor is jelentősen eltért az egyes kezelési csoportok között. Ennek ellenére a hosszabb hőkezelés mindhárom fafajnál nagyobb változást eredményezett a hővezetési tényezőben (1. ábra), bár az összefüggés nem lineáris, az idő növelésével a változás egy maximális érték felé közelít. A Pannónia nyár esetében a legnagyobb, gumifa esetében a legkisebb mindhárom mérési időpontban. A hőátadás sok tényezőtől függ (lásd bevezető), és mivel ezek közül a legnagyobb mértékben a sűrűség és az egyensúlyi fanedvesség befolyásolja azt, ezért ezek változása lesz a legjelentősebb befolyásoló tényező. A faanyagban a hőátadás módjai közül (kondukción, konvekción, radiáción) leginkább a hővezetés vagy más néven a kondukción játszik szerepet. A faanyagban található víz hővezetése nagyobb a fánál, így jelentős szerepe van az egész fa-víz rendszer (innentől faanyag) összesített hővezetésében, még akkor is, ha mennyiségileg a víz jelentősen kisebb

részarányban van jelen. A fentebb említett kémiai változások miatt a hőkezelés hatására az EMC csökken, így a hővezetést befolyásoló szerepe is csökken, melynek következtében a faanyag hővezetése is csökken. A sűrűség is befolyásolja a hővezetést, hiszen hőátadás szempontjából a faanyagban (a vízen kívül) levegővel teli üregek és szilárd anyag van. A sűrűség csökkenésével a szilárd rész aránya csökken, ami a hővezetés csökkenéséhez vezet. Korábbi vizsgálataink során arra a következtetésre jutottunk, hogy a sűrűségcsökkenés befolyása nagyobb (Pásztyori et al 2019). Így, bár abszolút értékben a sűrűség csökkenése hasonló a három fafajnál (1. táblázat) – vagyis közel azonos mennyiségű anyag távozik a hőkezelések során –, a kiindulási sűrűségek között tapasztalható különbségek miatt ez a gumifában jelentősen kisebb relatív hővezetés-változást idéz elő.

ÖSSZEFOGLALÁS

Méréseink igazolták, hogy a hőkezelt anyagból készült próbatestek egyensúlyi fanedvessége, sűrűsége és hővezetési tényezője alacsonyabb, mint a natúr, kezeletlen mintadaraboké.

Az irodalmi adatok alapján és a méréseink alapján is alátámasztható, hogy a hőkezelés által a faanyag egyensúlyi fanedvessége és sűrűsége csökken, mely magyarázza az alacsonyabb hővezetési tényezőt az azonos alapanyagból készült kontroll mintadarabhoz képest.

Megállapítható, hogy lucfenyő esetében mind a sűrűség, mind a hővezetési tényező relatív változása kisebb, mint a Pannónia nyár esetében, minden kezelési időtartam esetén, a gumifa esetében pedig még kisebb értékeket kaptunk. A fafajok közötti különbség részben az eltérő kiindulási sűrűséggel, részben a valószínűsíthető eltérő kémiai szerkezettel magyarázható. Utóbbit azonban egyelőre nem tudjuk bizonyítani, további vizsgálatok szükségesek az igazoláshoz.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Balsiger J., Bahdon J. & Whiteman A. 2000: The utilization, processing and demand for rubberwood as a source of wood supply. Asia-Pacific Forestry Sector Outlook Study, Working Paper No: APFSOS/WP/50. Asia-Pacific Forestry Commission, Workplan Number E24.2.
- Bosshard H., 1984: Holzkunde Bd.3, Aspekte der Holzbearbeitung és Holzverwertung. Birkhäuser Verlag, Basel
- Boonstra M. & Tjeerdsma B. 2006: Chemical analysis of heat treated softwoods. Holz- und Roh Werkstoffe 64: 204–211. DOI: 10.1007/s00107-005-0078-4
- Burmester A. 1973: Einfluss einer Wärme-Druck-Behandlung halbtrockenen Holzes auf seine Formbeständigkeit. Holz als Roh- und Werkstoff 31: 237–243.
- Burmester A. 1974a: Erfolgreiche Quellungs-Vergütung mit einfachen Mitteln (1) – Die Wärme-Druck-Behandlung – ein Verfahren mit guten Voraussetzungen für eine Realisierung. Holz- und Kunststoffverarbeitung 8/74: 534–538
- Burmester A. 1974b: Erfolgreiche Quellungsvergütung mit einfachen Mitteln (2) – Die Wärme-Druck-Behandlung von Holzwerkstoffen-technische Durchführung Wirtschaftlichkeit. Holz- und Kunststoffverarbeitung 8/74: 610–615



- Čabalová I., Kačík F., Lagaňa R., Výbohová E., Bubeníková T., Čaňová I. & Ďurkovič J. 2018: Effect of thermal treatment on the chemical, physical, and mechanical properties of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) wood. *BioResources* 13(1): 157–170.
- Chaouch M., Pétrissans M., Pétrissans A. & Gérardin P. 2010: Use of wood elemental composition to predict heat treatment intensity and decay resistance of different softwood and hardwood species. *Polymer Degradation and Stability* 95: 2255–2259. DOI: 10.1016/j.polyimdegradstab.2010.09.010
- Esteves B.M. & Periera H.M. 2009: Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources* 4(1): 370–404. DOI: 10.15376/biores.4.1.370–404
- Fengel D., 1966: Thermisch und mechanisch bedingte Strukturänderungen bei Fichtenholz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 24: 529–536
- Fengel D. & Wegener G., 1989: *Wood – Chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter, Berlin
- Giebler E. 1983: Dimensionsstabilisierung von Holz durch eine Feuchte/Wärme/Druck-Behandlung. *Holz Roh- Werkstoff* 41:87–94.
- Grønli M.G. 1996: Theoretical and experimental study of the thermal degradation of biomass. PhD dissertation. Norwegian University on Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Thermal Energy and Hydropower, Trondheim, Norway
- Gündüz G., Niemz P. & Aydemir D. 2008: Changes in specific gravity and equilibrium moisture content in heat-treated Fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bommülleriana* Mattf.) wood. *Drying Technology: An International Journal* 26(9): 1135–1139. DOI: 10.1080/07373930802266207
- Hanhijärvi A., Wahl P., Räsänen J. & Silvennoinen R., 2003: Observation of development of microcracks on wood surface caused by drying stress. *Holzforschung* 57: 561–565. DOI: 10.1515/HF.2003.083
- Hill C.A.S. 2006: *Wood modification: Chemical, thermal and other processes*. In *Wood modification*; Stevens, C.V., Ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA. Volume 5, pp. 99–127.
- Hillis W.E. 1984: High temperature and chemical effects on wood stability. *Wood Science and Technology* 18: 281–293
- Hinterstoisser B., Schwanninge M., Stefke B.; Stingl R. & Patzelt M. 2003: Surface analyses of chemically and thermally modified wood by FT-NIR. In *The 1st European Conference on Wood Modification Proceedings of the First International Conference of the European Society for Wood Mechanics*; van Acker, J.; Hill, C. (eds): Ghent, Belgium, April 2–4, 2003; 65–70.
- Homan W., Tjeerdma B., Beckers E. & Joressan A. 2000: Structural and other properties of modified wood. *Congress WCTE 2000*, 1, 18–35.
- Isebrands J.G. & Richardson J. (eds) 2014: *Poplars and willows: trees for society and the environment*. ISBN 978-1-78064-108-9 (co publisher FAO)
- ITTO 2009: *Encouraging industrial forest plantations in the tropics*. International Tropical Timber Organization, Yokohama
- Jämsä S. & Viitaniemi P. 1998: Heat treatment of wood. Better durability without chemicals. *Nordiske Trebeskyttelsesdager* 47–51
- Jämsä S. & Viitaniemi P. 2001: Heat treatment of wood – Better durability without chemicals. In: *Review on heat treatments of wood. Proceedings of the special seminar on heat treatments. 09.02.2001 in Antibes*. 17–22.
- Junghans K., Niemz P. & Bächle F. 2005: Untersuchungen zum Einfluss der thermischen Vergütung auf die Porosität von Fichtenholz. *Holz als Rohund Werkstoff* 63: 243–244. DOI: 10.1007/s00107-004-0553-3
- Kačík F., Ďurkovič J. & Kačíková D. 2012: Chemical profiles of wood components of poplar clones for their energy utilization. *Energies* 5: 5243–5256. DOI: 10.3390/en5125243
- Killmann W. & Hong L.T. 2000: Rubberwood – the success of an agricultural by-product. *Unasylva* 51: 66–72.
- Klose W. & Schinkel A. 2002: Measurement and modelling of the development of pore size distribution of wood during pyrolysis. *Fuel Processing Technology* 77–78: 459–466. DOI: 10.1016/S0378-3820(02)00082-6
- Kol Ş.H. 2009a: The transverse thermal conductivity coefficients of some hardwood species grown in Turkey. *Forest Products Journal* 59(10): 60–64. DOI: 10.13073/0015-7473-59.10.58
- Kol Ş.H. 2009b: Thermal and dielectric properties of Pine wood in transverse direction. *BioResources* 4(4): 1663–1669. DOI:10.15376/biores.4.4.1663–1669
- Kol Ş.H. & Altun S. 2009: Effect of some chemicals on thermal conductivity of impregnated laminated veneer lumbers bonded with poly(vinyl acetate) and melamine-formaldehyde Adhesives. *Drying Technology* 27: 1010–1016. DOI: 10.1080/07373930902905092
- Kol Ş.H., Uysal B., Kurt Ş. & Ozcan C. 2010: Thermal conductivity of oak impregnated with some chemicals and finished. *BioResources* 5(2): 545–555. DOI: DOI:10.15376/biores.5.2.545–555

- Kol Ş.H. & Sefil Y. 2011: The thermal conductivity of fir and beech wood heat treated at 170, 180, 190, 200, and 212°C. *Journal of Applied Polymer Science* 121(4): 2473–2480. DOI: 10.1002/app.33885
- Kollmann F. & Schneider A. 1958: Einrichtung zur praxisnahen und wissenschaftlich exakten Messung von Sorptionseigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen. *Holz als Roh- und Werkstoff* 16: 118–122. DOI: 10.1007/BF02615506
- Kollmann F. & Schneider A. 1963: Über das Sorptionsverhalten wärmebehandelter Hölzer. *Holz als Roh- und Werkstoff* 21: 77–85. DOI: 10.1007/BF02609705
- Kollmann F., Schmidt E., Kufler M., Fengel D. & Schneider A. 1969: Gefüge- und Eigenschaftsänderungen im Holz durch mechanische und thermische Beanspruchung. *Holz als Roh- und Werkstoff* 27: 407–425. DOI: 10.1007/BF02604735
- Korkut S., Aytin A., Taşdemir Ç. & Gurău L. 2013: The transverse thermal conductivity coefficients of Wild cherry wood heat-treated using the ThermoWood method. *ProLigno* 9(4): 649–683. Online ISSN 2069-7430.
- Kortelainen S.M., Antikainen T. & Viitaniemi P. 2006: The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce heat-treated at 170 °C, 190 °C, 210 °C and 230 °C. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64: 192–197. DOI 10.1007/s00107-005-0063-y
- Krzyszowska M., Pilawa B., Pusz, S. & Ng, J. 2006: Physical characteristics of carbon material derived from pyrolysed vascular plants. *Biomass and Bioenergy* 30: 166–176. DOI: 10.1016/j.biombioe.2005.11.009
- Kubojima Y., Okano T. & Otha M. 1998: Vibrational properties of Sitka spruce heat-treated in nitrogen gas. *Journal of Wood Science* 46: 63–67. DOI: 10.1007/BF00521878
- Kumaran M.K., Lackey J.C., Normandin N., Tariku F. & Reenen D.V. 2003: Variation in the hygrothermal properties of several wood based building products. *Research in Building Physics*, Leuven, Belgium, 35–42
- Laganá R., Dizhbite T. & Telysheva G. 2006: An influence of thermal treatment on surface properties of wood. In: Kurjatko S., Kúdela J. & Laganá R. (eds): *Wood structure and Properties '06*, Zvolen 289–291.
- Lengyel P. 1961: A hazai és nemes nyarak fájának kémiai összetétele. *Az Erdő* 10(4): 124–128.
- Lin B.-J., Colin B., Chen W.-H., Pétrissans A., Rousset P. & Pétrissans M. 2018: Thermal degradation and compositional changes of wood treated in a semi-industrial scale reactor in vacuum. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 130: 8–18. DOI: 10.1016/j.jaap.2018.02.005
- Nuopponen M., Vuorinen T., Jämsä S. & Viitaniemi P. 2003: The effect of a heat treatment on the behaviour of extractives in softwood studied by FTIR spectroscopic methods. *Wood Science and Technology* 37: 109–115. DOI: 10.1007/s00226-003-0178-4
- Okino E.Y.A., Resck I.S., Santana M.A.E., Cruz C.L.S.C., Santos P.H.O. & Falcomer V.A.S. 2010: Evaluation of wood chemical constituents of *Hevea brasiliensis* and *Cupressus* decomposed by *Gloeophyllum striatum* using CP/MAS 13C NMR and HPLC techniques. *Journal of Tropical Forest Science* 22(2): 184–196.
- Omidvar A., Schneider M.H. & Van Heinigen A.R.P. 2001: Probing red maple pit membranes pore size at fibre saturation point and oven dry density using polystyrene macromolecule. Document No. IRG/WP 01-40217. International Research Group on Wood Preservation, Stockholm
- Pásztor Z., Tsalagkas D., Horváth N. & Börcsök Z. 2019: Insulation panels made from thermally modified bark. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 15(1): 23–34. DOI: 10.2478/aslh-2019-0002
- Patzelt M., Emsenhuber G. & Stingl R. 2003: Colour measurements as means of quality control of thermally treated wood. In: E Van Acker, J., Hill, C. (eds): *Proceedings of the 1st European Conference on Wood Modification*, 3–4 April 2003, Ghent. Ghent University, Belgium, 213–218.
- Poletto M., Zattera A.J., Forte M.M.C. & Santana R.M.C. 2012: Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size. *Bioresource Technology* 109: 148–153. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.11.122
- Poletto M. 2016: Effect of extractive content on the thermal stability of two wood species from Brazil. *Maderas. Ciencia y tecnología* 18(3): 435–42. DOI: 10.4067/S0718-221X2016005000039
- Rapp A.O., Sailer M. & Brand K. 2003: Umweltfreundliche Konservierung von Massivholz und Massivholzprodukten für den Außenbereich. Schlussbericht für das BMBF-Projekt 0339862. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), Hamburg.



- Riyaphan J., Phumichai T., Neimsuwan T., Witayakran S., Sungsing K., Kaveeta R. & Phumichai C. 2015: Variability in chemical and mechanical properties of Pará rubber (*Hevea brasiliensis*) trees. *ScienceAsia* 41: 251–258. DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2015.41.251
- Samuel O.S., Ramon B.O., Johnson Y.O. 2012: Thermal conductivity of three different wood products of *Combretaceae* family; *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis* and *Quisqualis indica*. *Journal of Natural Sciences Research* 2(4): 36–43.
- Santos J.A. 2000: Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. *Wood Science and Technology* 34: 39–43. DOI: 10.1007/s002260050006
- Seborg R.M., Tarkow H. & Stamm A.J. 1953: Effect of heat upon dimensional stabilisation of wood. *Journal of Forest Products Research Society* 3: 59–67.
- Sehlfstedt-Persson M., Johansson D. & Morén T. 2006: Effect of heat treatment on the microstructure of pine, spruce and birch and the influence on capillary absorption. In: Kurjatko, S., Kúdela, J. & Lagana, R. (eds): *Wood Structure and Properties '06*, Zvolen, 373–379.
- Severo E.T.D., Oliveira E.F., Sansígolo C.A., Rocha C.D. & Calonego F.W. 2013: Properties of juvenile and mature woods of *Hevea brasiliensis* untapped and with tapping panels. *European Journal of Wood and Wood Products* 71(6): 815–818. DOI: 10.1007/s00107-013-0731-2
- Severo E.T.D., Calonego F.W., Sansígolo C.A. & Bond B. 2016: Changes in the chemical composition and decay resistance of thermally-modified *Hevea brasiliensis* wood. *PLoS ONE* 11(3): e0151353. DOI: 10.1371/journal.pone.0151353
- Simatupang M.H., Schmidt U. & Kasim A. 1994: Wood extractives of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) and their influences on the setting of the inorganic binder in gypsum-bonded particleboards. *Journal of Tropical Forest Science* 6(3): 269–285.
- Shebani A.N., van Reenen A.J. & Meincken M. 2008: The effect of wood extractives on the thermal stability of different wood species. *Thermochimica Acta* 471(1–2): 43–50. DOI: 10.1016/j.tca.2008.02.020
- Shigematsu A., Mizoue N. & Kajisa T., Yoshida S. 2011: Importance of rubberwood in wood export of Malaysia and Thailand. *New Forests* 41: 179–189. DOI 10.1007/s11056-010-9219-7
- Stamm A.J. & Hansen L.A. 1937: Minimizing wood shrinkage and swelling: Effect of heating in various gases. *Industrial & Engineering Chemistry* 29(7): 831–833. DOI: 10.1021/ie50331a021
- Stamm A.J., Burr H.K. & Kline A.A. 1946: Staywood, Heat-stabilized wood. *Industrial and Engineering Chemistry* 38: 630–634. DOI: 10.1021/ie50438a027
- Suleiman B.M., Larfeldt J., Leckner B. & Gustavsson M. 1999: Thermal conductivity and diffusivity of wood. *Wood Science and Technology* 33: 465–473. DOI: 10.1007/s002260050130
- TenWolde A., McNatt J.D. & Krahn L. 1988: Thermal properties of wood and wood panel products for use in buildings. *Forest Products Laboratory, Subcontract Number DE-AI05-870R21697*
- Terziev N. & Daniel G. 2002: Industrial kiln drying and its effect on microstructure, impregnation and properties of Scots pine timber for above ground use. Part 2. Effect of drying on microstructure and some mechanical properties of Scots pine sapwood. *Holzforschung* 56: 434–439. DOI: 10.1515/HF.2002.067
- Tiemann, H.D. 1920: Effect of different method of drying on the strength and hygroscopicity of wood. *The kiln drying of lumber*. 3rd ed. J.P. Lippincott Co., Philadelphia, PA. 256–264.
- Uysal B., Kurt S., Kol H.S., Özcan C. & Yildirim M.N. 2008: Thermal conductivity of poplar impregnated with some fire retardant. *Teknoloji* 11(4): 239–251.
- Vernois M. 2001: Heat treatment of wood in France – State of the art. In: *Review on heat treatments of wood*. In: Rapp A.O. (ed): *Proceedings of special seminar on heat treatments*, Antibes, France. Office for official publications of the European communities, Luxembourg
- Wagenführ R. 2006: *Holzatlas*. 6., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage Hanser, Carl (Verlag) ISBN 978-3-446-40649-0, 603, 677.
- Welzbacher C.R. & Rapp O.A. 2002: Comparison of thermally modified wood originating from four industrial scale processes-durability. *International Research Group on Wood Protection Doc. N° 02-40229*. Stockholm

- Welzbacher C.R. & Rapp A.O. 2003: Thermische Verfahren – Verfahrensübergreifender Vergleich. In: 23 Holzschutz-Tagung der DGfH, Augsburg, 26–27.03.2003. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München. 97–112.
- Xu J., Zhang Y., Shen Y., Ki C., Wang Y., Ma Z. & Sun W. 2019: New perspective on wood thermal modification: relevance between the evolution of chemical structure and physical-mechanical properties, and online analysis of release of VOCs. *Polymers* 11: 1145. DOI: 10.3390/polym11071145
- Yang H., Rong Y., Chen H., Dong H.L. & Zheng C. 2007: Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel* 86: 1781–1788. DOI: 10.1016/j.fuel.2006.12.013
- Zaman A., Alén R. & Kotilainen R. 2000: Thermal behavior of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Silver birch (*Betula pendula*) at 200–230 °C. *Wood and Fiber Science* 32(2): 138–143.
- Zamora D.S., Wyatt G.J., Apostol K.G. & Tschirner U. 2013: Biomass yield, energy values, and chemical composition of hybrid poplars in short rotation woody crop production and native perennial grasses in Minnesota, USA. *Biomass and Bioenergy* 49: 222–230. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.12.031
- Zhou Y., Mingliang J., Ruiqing G. & Xiaoling L. 2007: Rubberwood Processing Manual. Research Institute of Wood Industry Chinese Academy of Forestry, Beijing. CFC/ITTO/72 PD103/01 Rev.4 (I) "Demonstration of Rubberwood Processing Technology and Promotion of Sustainable Development in China and Other Asian Countries"

Érkezett: 2020 április 07.

Közlésre elfogadva: 2020. május 11.



„Szakértő” parkosítás

Budapest egyik felújítás alatt lévő parkjában gondos kezek maradéktalanul körbebetonozták a fa törzsét. Ez nemcsak a csapadék beszivárgását, de a fa további növekedését is gátolja, így az a lassú halálra van ítélve.

Fotó és szöveg: Koltay András (NAIK ERTI, Mátrafüred)

KÉREGALAPÚ HŐSZIGETELŐ LEMEZ TULAJDONSÁGAINAK JAVÍTÁSA

Börcsök Zoltán és Pásztor Zoltán

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Kar, Innovációs Központ

Kivonat

Számos kutatás foglalkozik természetes anyagokból készült szigetelő anyagokkal, közöttük a kéreggel is. A kéregből készült lemezek fizikai és mechanikai tulajdonságai rendszerint rosszabbak az ugyanolyan körülmények között készült faalapú lemezek tulajdonságainál. Ennek a tanulmánynak a célja az, hogy megvizsgálja a Pannónia nyár kéregéből készült hőszigetelő lemez tulajdonságai rövid üvegszál belekeverésével, random elrendezésű üvegszál szövet, valamint üvegszál háló és üvegszál szőtt szövet felületre ragasztásával, illetve a felszín alá helyezett üvegszál háló segítségével javítható-e. További vizsgálat során a panelek hővezetését próbáltuk javítani a kéreg forgácsok hőkezelésével. A cél sűrűség 350 kg/m^3 volt, az elkészült panelek hővezetése $0,067$ és $0,078 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ közötti volt. A megerősítéseknek csak gyenge hatása volt a hővezetésre és a mechanikai tulajdonságokra. A hővezetést elsősorban a sűrűség befolyásolta, bár a nyersanyag előkezelése csökkentette a panelek hővezetését.

Kulcsszavak: fakéreg, hőszigetelés, erősítés, üvegszál, hőkezelés

IMPROVING THE PROPERTIES OF BARK BASED INSULATION PANELS

Abstract

Several studies have investigated natural-based insulation materials, including bark. The physical and mechanical properties of the bark panels are worse than those of wood panels. The aims of this study were to manufacture an insulation panel from Pannónia poplar bark and investigate the reinforcement possibilities with short glass fiber, overlaying fibreglass mesh, fibreglass mat and fibreglass woven fabric and two types of paper, as well as inner glass fiber mesh. Further, we tried to improve the thermal conductivity of the panels by heat treating the bark particles. We studied their physical and mechanical properties and thermal conductivity. The target density was 350 kg/m^3 , the thermal conductivity of the panels ranged from 0.067 to $0.078 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. The reinforcement slightly decreased thermal conductivity and significantly increased mechanical properties. Thermal conductivity is determined by density. The heat pre-treatment of the raw material slightly decreased the thermal conductivity.

Keywords: tree bark, thermal insulation, reinforcement, glass fiber, heat treatment

BEVEZETÉS

Mivel a legtöbb kutató elfogadta a klímaváltozást és a fosszilis nyersanyagok készleteinek véges voltát, az energia felhasználásának csökkentése egyre sürgetőbbé vált/válik. Az EU-ban az épületek felelnek az összes energiateljesítmény 40%-áért és a szén-dioxid kibocsátás 35%-áért. A már meglévő és újonnan épülő épületek energia-hatékonyságának növelését a határoló szerkezetek (fal, padló, tető) hőteljesítményének javításával érhetjük el (Schiavoni et al 2016, Pavel & Blagoeva 2018). Ahogy a környezetvédelmi megfontolások előtérbe kerültek, úgy a természetes alapanyagú, újrahasznosítható anyagok és megoldások jelentősége is növekedett, ezért az utóbbi évtizedekben a természetes alapanyagú szigetelések kutatása folyamatos.

Számos kutatás foglalkozott a természetes anyagokból készülő lemezekkel a gyapot szár rostjaitól (Zhou et al 2010) a búzaszalmáig (Volf et al 2015). A növényi rostokból vagy forgácsokból, szemcsékből készült szigetelések hővezetési tényezője 0,037 és 0,065 W/m·K között van (Hurtado et al 2016, Schiavoni et al 2016, Veitmans & Grinfelds 2016). A kéreg szintén a kutatott anyagok között található (Kain et al 2013, Pásztory & Ronyecz 2013, Pásztory et al 2017b). Évente, globálisan kéregből több milliónyi tonna keletkezik a fafeldolgozás során (Aydin et al 2017). Számos tanulmány szerint a kéregből készült lemezek fizikai és mechanikai tulajdonságai rosszabbak, mint az azonos körülmények között készült faanyag alapú lemezeké, de ezek javíthatók (Murphey & Rishel 1969, Place & Maloney 1975, 1977, Blankenhorn et al 1977, Blanchet et al 2000). A vegyes, faanyag és kéreg keverékéből készült lemezek tulajdonságai romlanak a kéregarány növekedésével (Nemli & Çolakoğlu 2005, Yemele et al 2008, Pedieu et al 2008). Ugyanakkor azon fajok kérgé, melyek hosszú rostokat tartalmaznak, sokkal inkább alkalmasak lemezek készítésére (Maloney 1973, Chow 1976, Yamauchi et al 1999, Blanchet et al 2000, Pedieu et al 2009). Érdemes megjegyezni azt is, hogy a kéregtartalom növekedésével csökken a formaldehid kibocsátás mértéke (Nemli & Çolakoğlu 2005).

A kéreglemezek gyengesége javítható, ha azokat általánosan is használt mesterséges rostokkal, szálakkal, pl. üveg, szén, bazalt vagy aramid szálakkal erősítjük meg. A fatermékek üvegszál erősítésének vizsgálata a hatvanas években kezdődött, üvegszál erősítésű gerendák formájában (Wangaard 1964, Biblis 1965). Azóta számos kutatásban alkalmazták a felszínen vagy az anyagba keverve, esetleg a felszín alatt, hogy növeljék a hajlító szilárdságot pl. MDF (Medium Density Fiberboard) (Cai 2006), rétegelt lemez (Biblis & Carino 2000, Mitzner 1973), LSL (Laminated Strand Lumber) (Moradpour et al 2018), LVL (Laminated Veneer Lumber) (Bal 2014) és glulam gerenda (Glued Laminated Timber) (Osmannezhad et al 2014) esetén. Az üvegszálakat, mint az anyagba kevert erősítő anyagot vizsgálták beton kompozitok (Kizilkanat et al 2015, Arslan, 2016) és fa-műanyag kompozitok esetén is (Zolfagari et al 2015).

A faanyag és a fatermékek hővezetése számos tényezőtől függ, befolyásolja a sűrűség, nedvességtartalom, kémiai összetétel, porozitás, rostirány stb. (MacLean 1941, TenWolde et al 1988, Ragland et al 1991, Suleiman et al 1999). A faanyag hőkezelése javítja a faanyag dimenzióstabilitását az egyensúlyi fanedvesség, a vízfelvétel és a dagadás csökkentése révén, ugyanakkor a szilárdsági tulajdonságok gyengülnek (Seborg et al 1953, Rowel & Youngs 1981, Hill 2006). A faanyag hővezetése szintén csökken hőkezelés hatására (Sekino & Yamaguchi 2010, Kol & Sefil 2011, Korkut et al 2013, Pásztory et al 2017a).

A kutatás célja volt, hogy (i) hőszigetelő lemezt készítsünk kéreg forgács felhasználásával; (ii) javítsuk a lemezek mechanikai tulajdonságait a felszín üvegszálal anyaggal történő borításával, vagy a felszín alá helyezett üvegszálal hálóval, vagy a szemcsék közé kevert üvegszállal; valamint (iii) a kéregforgács alapanyag hőkezelésével csökkentsük a panelek hővezetését.

RÖVIDÍTÉSEK

TS	Dagadás (%)
WA	Vízfelvétel (wt%)
EMC	Egyensúlyi fanedvesség (%)
ρ	Sűrűség (kg/m ³)
λ	Hővezetés (W/m·K)
MOE	Rugalmassági modulusz (MPa)
MOR	Hajlítószilárdság (GPa)
IB	Belső kötés (N/mm ²)
UF	Karbamid-formaldehid gyanta
MC	Nedvességtartalom (%)

ANYAG ÉS MÓDSZER

Felhasznált anyagok

(a) A felhasznált Pannónia nyár (*Populus × euramericana* (Dode) Guiner cv. Pannónia) kéreg a TAEG Zrt. Soproni Fűrészüzeméből származik. A külső és belső kérget nem választottuk el, előzetes szárítás után kalapácsol malomban őröltük, 8 mm-es szitán átengedve. A kéreg forgácsot frakcionáltuk (3 PRO Fritsch Analysette) és a 0,5–8,0 mm-es tartományt használtuk fel panelkészítésre. A forgácsot tovább szárítottuk 6–9% nettó nedvességtartalomig.

(b) A felszíni megerősítéshez közösleges üvegszálas termékeket használtunk: üvegszálás hálót (GFRP1), random üvegszálás szövetet (GRFP2), valamint szőtt üvegszálás anyagot (GFRP3). Ezekon kívül két típusú papírt, egy vastagabb, kétrétegű reciklált papírt (P1) és egy vékonyabb, termomechanikai rosttal bevont papírt (P2), melyeket UF-fel ragasztottunk és préseltünk a panelek felszínére. A papírok fő tulajdonságait a TAPPI T 410 (1998) and TAPPI T 494 (1996) szabványok szerint mértük, a mérési eredményeket az 1. táblázat tartalmazza. A papír felületek nedvesíthetőségét TAPPI T458 (2004) szabvány szerint, 68–76 PocketGoniometer PGX+ műszerrel végeztük. A peremszöget (CA) és a felületi energiát statikus mérési módban, desztillált vízzel és dijudmetánnal (DIM) mértük.

1.táblázat: Lapvastagság és a felhasznált papírlapok TAPPI szabványok szerint meghatározott főbb tulajdonságai
Table 1: Sheet thicknesses and main properties of the paper sheets used in the research, according to TAPPI standards

	Vastagság (µm)	Négyzetméter-tömeg (g/m ²)	MD ¹ Szakítási mutató (Nm/g)	CD ² Szakítási mutató (Nm/g)	Peremszög CA (°)		Felületi energia ΔG _i (mJ m ⁻²)	
					külső felszín	panelra ragasztott felszín	külső felszín	panelra ragasztott felszín
P1	278	194	60,19	22,28	109,8	71,4	24,66	-23,22
P2	116	88,6	53,62	30,32	96,5	113,9	8,24	29,49

¹MD: gyártásirány, ²CD: kereszt irány

(c) A felszín alatti megerősítéshez kétféle üvegszál hálót használtunk (M1 és M2), melyek főbb tulajdonságait a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A kísérletekben használt üvegszál hálók főbb tulajdonságai
Table 2: Basic properties of fiberglass meshes used in this work

	M1	M2	
Négyzetmétersúly (g/m ²)	75	53	
Hálóméret (mm)	3,0×2,5	4,4×4,2	
Szakítószilárdság (N/5 cm)	Lánc irány	350	850
	Vetülék irány	760	1000

(d) A kísérletekben felhasznált bekevert üvegszál fonal a PD Tatneft-Alabuga Fiberglass LLC (Yelabuga, Russia) cégtől származik. A tekercsről kézzel vágtuk le a felhasznált 12 mm (GF_12), 18 mm (GF_18), 24 mm (GF_24) and 30 mm (GF_30) hosszra. A felhasznált üvegszál tulajdonságait a 3. táblázat tartalmazza.

(e) Az alapanyag hőkezelése 180 °C-on történt. A kéreg forgácsot szobahőmérsékletről 95 °C-ra 1 óra alatt, 95 °C-ról 130 °C-ra további 2 óra alatt melegítettük fel, a csúcshőmérsékletet további fél óra alatt értük el. Ezt követően három különböző kezelési időt alkalmaztunk (állandó hőmérsékleten tartva az anyagot): 1 (T1), 2 (T2) és 3 (T3) óra hosszát tartottak a kezelések.

(f) Általános UF műgyantát használtunk a panelek elkészítéséhez, DUKOL Ostrava s.r.o. cégtől.

3. táblázat: Az üvegszál fonal főbb tulajdonságai
Table 3: Main properties of glass fibres

	Típus	szálátmérő (mikron)	lineáris sűrűség (Tex)*	MC (%)	szívósság (gf/tex)**
EC 14-300-350	Szilán módosított „E” üveg	14,0±1,5	300±15	<0,20	>45

* A lineáris sűrűség a szálanyagok hosszegységére jutó tömegét jelenti: 1 tex=1 g/km

**A szívósság a szál anyagok „erősségét” jellemzi, hagyományosan gramm-erő/tex mértékegységgel. A gramm-erő (gram-force) egy metrikus erőegység: 1 gf egyenlő egy gramm tömegével, szorozva a Föld átlagos gravitációjának megfelelő gyorsulással, azaz 9,80665 m/s²-tel.

PANELGYÁRTÁS

(a) A panel száraz tömegéhez viszonyított 4% UF ragasztót használtunk a panelek elkészítéséhez, 35%-os, 3% szárazanyag tartalmú ammónium szulfát edzőt alkalmazásával. A kéreg forgácsot 5 percig kevertük a gyantarendszerrel, hogy homogén keveréket hozzunk létre. Ezt követően egy fakeret felhasználásával terítéket hoztunk létre, melyet előtömörítettünk, majd a keretet eltávolítottuk. Laboratóriumi prés (Siempelkamp) segítségével 500 mm × 500 mm × 20 mm-es szigetelő lemezeket készítettünk, 350 kg/m³ célsűrűséggel. A préselési idő 18 másodperc volt vastagsági milliméterenként, a prést 180 °C-ra melegítettük. A kezdeti présnyomás 2,86 MPa volt, melyet három lépcsőben (2 MPa, 1.15 MPa, 0 MPa) redukáltunk, a képződő gőz okozta panelsérülések elkerülése érdekében.

(b) Mindhárom, a felszínre ragasztott üvegszál anyagot utólag hőpréssel ragasztottuk a felszínre. A ragasztáshoz kétkomponensű epoxi gyantát (Elan-tech EC 152; W152 HR) használtunk, mind az üvegszál anyagra, mind a panelek felszínére ecsettel felhordva. A ragasztás után a ragasztóanyag kötéséhez a paneleket szobahőmérsékleten 24 órára présbe helyeztük 0,2 MPa nyomáson.

A papírral fedett panelek egy lépésben, a panelek préseléskor készültek, a hőpréselés előtt a panelgyártáshoz is használt UF ragasztót hordunk fel a papírra ecsettel.

(c) A felszín alá helyezett üvegszálás hálót a terítékképzés során helyeztük a teríték belsejébe kb. 2 mm-re a felszíntől.

(d) A különböző hosszúságú, 3%-nyi (m/m %, száraz tömegre vonatkoztatott) üvegszálát a ragasztóval együtt kevertük a kéreg forgácshoz, és 5 percig kevertük a homogenizálás érdekében.

(e) A hőkezelt forgácsból készült panelek ugyanazzal a módszerrel készültek, mint a kontrol panelek, lásd (a) pont.

MÉRÉSEK

A hővezetést a panelek keresztmetszetén mértük egy egyedi, laboratóriumi hővezetésmérővel. A hideg és meleg oldal között 10 °C hőmérséklet különbséget állítottunk be, a hővezetést az egyensúlyi állapot elérése után a hőáram mérésének segítségével számítottuk.

A sűrűséget a mechanikai mérésekhez használt mintákon mértük, legalább 15 minta átlagaként. A sűrűséget az egyensúlyi fanedvesség beállása után, közvetlenül a mechanikai tesztek elvégzése előtt mértük.

A vízfelvételt és a dagadást 2, illetve 24 órás vízbe merítéssel mértük az MSZ EN 317:1998 európai szabványnak megfelelően. Tizenkét darab 50 mm × 50 mm-es próbatest súlyát és vastagságát mértük 0,01 g, illetve 0,1 mm pontossággal.

A mechanikai tulajdonságokat Instron 5506 vizsgálógéppel végeztük. Mértük a hajlítoszilárdságot (MOR) és a rugalmassági moduluszt (MOE) [MSZ EN 310:1999], a felragasztott felületek és a kéreg panelek közötti ragasztás minőségének tesztelésére a felületi szilárdságot (SS) [MSZ EN 311:2002], a nem ragasztott felületű panelek esetében a felületre merőleges szakítoszilárdságot, vagy más néven belső kötést (IB) [EN 319:1993]. A minták kialakítása az EN 326-1:1994 szabvány szerint történt.

A mérési eredmények statisztikai elemzésére az egyes csoportokon belül varianciaanalízist (ANOVA) végeztünk Statistica 13 szoftver segítségével (TIBCO Software Inc., USA). Az adatok normalitását Shapiro-Wilk teszttel, a homogenitást Levene teszttel ellenőriztük 5% szignifikancia szinten. Post hoc tesztet végeztünk Tukey HSD módszere szerint.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A mért eredményeket és a szórásokat a 4. és 5. táblázat tartalmazza.

Sűrűség

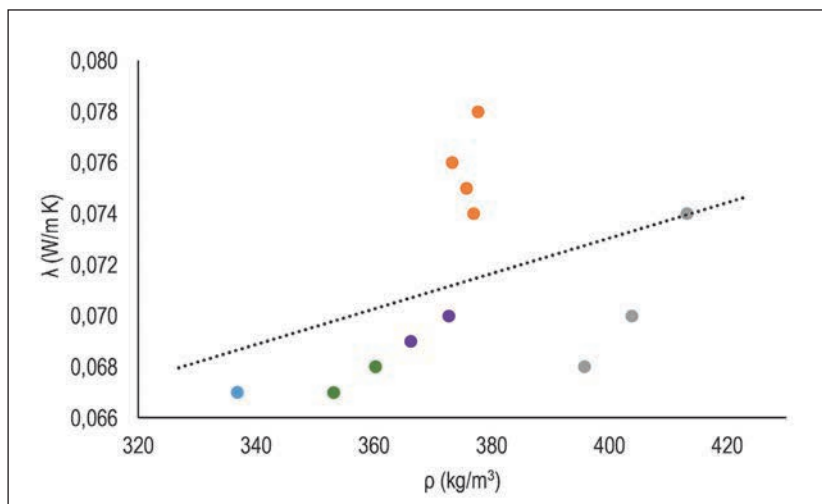
A sűrűség majdnem minden panel esetében nagyobb lett, mint a célsűrűség (350 kg/m^3), 336 és 413 kg/m^3 között volt, ami részben a laboratóriumi körülmények nagyobb inhomogenitásával magyarázható. Tekintettel arra, hogy a felületi megerősítésre használt üvegszálás anyagokat utólag erősítettük az elkészült lemezekre, azok sűrűsége jelentősen eltért a többi panelétől.

A hőkezelt alapanyagokból készült panelek esetében is ugyanakkora tömegű kiindulási anyagot használtunk fel, a célsűrűség itt is 350 kg/m^3 volt, vagyis a panelek közötti kis eltérések itt is a laboratóriumi körülmények nagyobb inhomogenitásával magyarázhatók.

Hővezetés

A kontrol panel hővezetése $0,067 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ volt, míg a különböző módon megerősített panelek hővezetése $0,067$ és $0,078 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ közé esett. Ismert, hogy a panelek hővezetését erősen befolyásolja azok sűrűsége, mivel a sűrűség növekedésével nő a szilárd részecskék mennyisége, és a hő a részecskék közötti hőhidakon

keresztül tud áramolni. A nagyobb mennyiségű részecske több hőhidat jelent, és így jobb hővezetést is. A különböző módon megerősített panelek hővezetését és sűrűségét egy diagramon ábrázolva (1. ábra) azonban az látható, hogy a hővezetést nem csak a sűrűség, hanem a panel típusa is befolyásolja. Egy paneltípuson belül a sűrűség természetesen befolyásolja a hővezetést, de ennek mértéke (a rá illeszthető egyenesek meredeksége) változó. Annak ellenére, hogy a különböző típusú panelek hővezetésének átlagértéke különbözött, szignifikáns különbségek nem voltak kimutathatók.



1. ábra: A sűrűség és a hővezetés közötti összefüggés a megerősített panelek esetében (kék – kontrol, zöld – papír borítás, lila – belső háló, narancs – rövid üvegszálak, szürke – üvegszálak borítás)

Figure 1: Relation between density and thermal conductivity of the reinforced panels (blue – control; green – paper overlaid; purple – inner mesh; orange – short glass fibers; gray – glass fiber overlaid)

A hőkezelt alapanyagból készült panelek hővezetése 0,064, 0,065 és 0,067 W/m·K (1, 2, illetve 3 óráig tartó kezelés), a kontrol panel hővezetése 0,067 W/m·K volt. A sűrűség növekedésével a hőkezelt anyagokból készült panelek hővezetése is növekedett.

4. táblázat: A megerősített panelek és a kontrol panel fizikai, hőtechnikai és mechanikai tulajdonságai

Table 4: Physical, thermal and mechanical properties of the reinforced panels and control panels

	Kontrol	P1	P2	GFRP1	GFRP2	GFRP3	GF_12	GF_18	GF_24	GF_30	M1	M2
Fizikai tulajdonságok												
ρ (kg/m ³)	336,80 (±22,95)	360,24 (±17,57)	353,06 (±14,67)	413,07 (±23,77)	395,69 (±18,66)	403,71 (±26,97)	376,89 (±19,46)	375,60 (±14,82)	377,63 (±12,47)	373,21 (±15,80)	372,68 (±30,93)	366,14 (±10,90)
EMC (%)	8,88 (±0,17)	9,12 (±0,15)	9,60 (±0,36)	9,29 (±0,28)	9,51 (±0,56)	9,64 (±0,23)	9,66 (±0,84)	10,18 (±0,09)	9,86 (±0,27)	9,58 (±0,28)	9,66 (±0,30)	9,43 (±0,30)
WA (wt%)	218,37 (±28,03)	159,32 (±6,98)	210,87 (±42,45)	147,03 (±24,04)	161,34 (±23,53)	152,83 (±22,96)	193,23 (±28,05)	173,87 (±16,91)	177,54 (±18,29)	190,94 (±26,26)	207,61 (±35,91)	182,73 (±18,37)
TS (%)	18,18 (±3,09)	12,39 (±0,86)	16,90 (±2,40)	13,76 (±2,90)	9,78 (±2,14)	9,63 (±1,37)	8,88 (±1,12)	9,18 (±0,80)	9,14 (±1,15)	9,28 (±0,88)	16,83 (±2,62)	15,83 (±1,43)
Hőtechnikai tulajdonságok												
λ (W/mK)	0,067 (±0,004)	0,068 (±0,001)	0,067 (±0,004)	0,074 (±0,002)	0,068 (±0,001)	0,070 (±0,004)	0,074 (±0,007)	0,075 (±0,002)	0,078 (±0,004)	0,076 (±0,002)	0,070 (±0,004)	0,069 (±0,001)

A 4. táblázat (folytatás)

Table 4. (cont.)

	Kontrol	P1	P2	GFRP1	GFRP2	GFRP3	GF_12	GF_18	GF_24	GF_30	M1	M2
Mechanikai tulajdonságok												
SS (N/mm ²)	–	0,12 (±0,07)	0,08 (±0,05)	0,16 (±0,06)	0,17 (±0,04)	0,23 (±0,10)	–	–	v	–		
IB (N/mm ²)	0,04 (±0,02)	–	–	–	–	–	0,13 (±0,02)	0,10 (±0,03)	0,09 (±0,01)	0,12 (±0,03)	0,04 (±0,01)	0,05 (±0,02)
MOR (MPa)	0,54 (±0,17)	2,21 (±0,29)	1,43 (±0,24)	2,54 (±0,81)	2,82 (±0,68)	4,45 (±1,98)	1,02 (±0,21)	0,84 (±0,18)	0,75 (±0,22)	0,66 (±0,19)	0,54 (±0,17)	2,44 (±0,65)
MOE (GPa)	0,28 (±0,08)	0,99 (±0,10)	0,66 (±0,06)	1,95 (±0,40)	1,36 (±0,19)	2,86 (±0,48)	0,19 (±0,03)	0,15 (±0,02)	0,15 (±0,02)	0,15 (±0,03)	0,28 (±0,08)	0,66 (±0,11)

5. táblázat: Hőkezelt alapanyagokból készült panelek fizikai, hőtechnikai és mechanikai tulajdonságai

Table 5: The physical, thermal and mechanical properties of panels, pre-treated on different duration

	C	T1	T2	T3
Fizikai tulajdonságok				
ρ (kg/m ³)	336,80 (±22,95)	336,40 (±13,53)	349,78 (±20,73)	352,29 (±12,74)
EMC (%)	8,88 (±0,22)	8,33 (±0,22)	8,44 (±0,21)	7,66 (±0,17)
WA (wt%)	217,89 (±48,0)	185,57 (±23,58)	123,19 (±25,93)	100,61 (±34,82)
TS (%)	18,18 (±3,09)	10,68 (±2,49)	7,65 (±1,49)	5,45 (±0,72)
Hőtechnikai tulajdonságok				
λ (W/m K)	0,067 (±0,004)	0,064 (±0,003)	0,065 (±0,005)	0,067 (±0,001)
Mechanikai tulajdonságok				
MOR (MPa)	0,54 (±0,17)	0,45 (±0,09)	0,89 (±0,21)	1,08 (±0,22)
MOE (GPa)	0,28 (±0,08)	0,22 (±0,03)	0,41 (±0,13)	0,56 (±0,06)
IB (N/mm ²)	0,037 (±0,014)	0,032 (±0,018)	0,039 (0,009)	0,047 (0,014)

Mechanikai tulajdonságok

A MOR, MOE és SS erősen függ a felszínborítás anyagától. Általánosságban elmondható, hogy az üvegszálas anyaggal borított panelek mechanikai tulajdonságai jobbak a papírborítású paneleknél. A papírok közül az újrahasonított papír hozott jobb eredményeket, ugyanakkor egyik papír sem hozott olyan kiemelkedő eredményeket, mint WA és TS esetében. Az üvegszálás borítások közül a szőtt üvegszálás szövet eredményezte a legjobb mechanikai tulajdonságokat, de a másik két üvegszálás borítás alig gyengébb eredményeket adott. Azok a panelek, melyekbe 12–30 mm-es üvegszálakat kevertünk erősítés gyanánt, rosszabb mechanikai tulajdonságokat mutattak, mint a kontrol panelek. Sőt, általánosságban a mechanikai tulajdonságok romlottak az üvegszál hosszának növekedésével. A vizsgált üvegszál-hosszok közül a 12 mm szállal erősített panelek



mutatták a legjobb eredményeket. IB tekintetében nem volt szignifikáns különbség a megerősített csoportok között, bár a felszín alá elhelyezett hálókval erősített panelek esetében volt a legalacsonyabb. A szignifikáns különbségek hiánya a nagy szóródásra vezethető vissza, mely miatt a csoportok közötti adatok átfednek. Mind a belső szál, mind a háló erősítés esetében megfigyelt alacsony mechanikai értékek az üvegszálak és a kéreg forgácsok közötti kémiai kötésekre hiányára vezethetők vissza, ami rétegválások kialakulásához vezetett a panelekben.

A hőkezelt anyagból készült panelek mechanikai tulajdonságai között nem találtunk szignifikáns különbséget.

ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk igazolta, hogy lehetséges hőszigetelő paneleket gyártani Pannónai nyár kéregből, UF gyanú felhasználásával. Mivel a különböző faalapú hőszigetelések hővezetése 0,05 és 0,08 W/m K között van (TenWolde et al 1988, Kamke 1989), elmondhatjuk, hogy az általunk készített panelek ennek a tartománynak a felső felében helyezkednek el. Ugyanakkor a mesterséges hőszigetelő anyagok hővezetése ennél kedvezőbb, 0,015 és 0,045 közötti, viszont a természetes anyagokból készült termékek környezetterhelése jóval alacsonyabb.

A hőkezelés hatással volt a hővezetésre, de a hővezetés erősebb sűrűségfüggése elfedte ezt a hatást. Hőreiszten ragasztó alkalmazásával az elkészült panelek utólagos hőkezelésével várhatóan drasztikus sűrűség és hővezetés csökkenés érhető el.

Bár a szigetelő anyagoknak nem kell olyan mechanikai tulajdonságokkal rendelkezni, mint a szerkezeti elemeknek, előnyt jelenthet az anyagok pakolása, szállítása során, ha rendelkeznek némi merevséggel. A kéregből készült szigetelőanyagok mechanikai tulajdonságai az összes általunk vizsgált megerősítéssel többé-kevésbé javítható, melyek közül a szőtt üvegszálak szövet borítású panel tulajdonságai voltak a legkedvezőbbek. Egyes esetekben a panelek tulajdonságai tovább javíthatók lennének olyan ragasztó segítségével, mely kötést alakít ki az üvegszál és a kéreg részecskék között.

A megerősítéseknek akkor volt hatása a fizikai tulajdonságokra (EMC, TS, WA), ha fizikailag akadályozták a víz felvételét a környezetből. A hőkezelés az alapanyag kémiai szerkezetét megváltoztatta, csökkentette a hidroxil csoportok számát és ezzel csökkentette a vízfelvételt és a dagadást.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Arslan M.E. 2016: Effects of basalt and glass chopped fibers addition on fracture energy and mechanical properties of ordinary concrete: CMOD measurement. *Construction and Building Materials* 114: 383-391. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.176
- Aydin I., Demirkir C., Colak S. & Colakoglu G. 2017: Utilization of bark flours as additive in plywood manufacturing. *European Journal of Wood and Wood Products* 75: 63–69.

- Bal B.C. 2014: Flexural properties, bonding performance and splitting strength of LVL reinforced with woven glass fiber. *Construction and Building Materials* 51: 9–14. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.041
- Biblis E.J. 1965: Analysis of wood-fibreglass composite beams within and beyond the elastic region. *Forest Products Journal* 15 (2): 81–88.
- Biblis E.J. & Carino H.F. 2000: Flexural properties of southern pine plywood overlaid with fibreglass-reinforced plastic. *Forest Products Journal* 50(1): 34–36.
- Blanchet P., Cloutier A. & Riedl B. 2000: Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues. *Wood Science and Technology* 34: 11–19. DOI: 10.1007/s002260050003
- Blankenhorn P.R, Murphey W.K., Rishel L.E. & Kline D.E. 1977: Some mechanical properties of impregnated bark board. *Forest Products Journal* 27(6): 31–38.
- Cai Z. 2006: Selected properties of MDF and flakeboard overlaid with fibreglass mats. *Forest Products Journal* 56 (11/12):142–146
- Chow P. 1976: Properties of medium-density, dry-formed fiberboard from seven hardwood residues and bark. *Forest Products Journal* 26(5): 48–55.
- Gao Y., Xu K., Peng H., Jiang J., Zhao R. & Lu J. 2019: Effect of heat treatment on water absorption of chinese fir using TD-NMR. *Applied Sciences* 9: 78. DOI: 10.3390/app9010078
- Hill C.A.S. 2006: *Wood Modification, Chemical, Thermal and Other Processes*; Wiley: England
- Hurtado P.L., Rouilly A., Vandenbossche V. & Raynaud C. 2016: A review on the properties of cellulose fibre insulation. *Building and Environment* 96: 170–177. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.09.031
- Kain G., Barbu M.C., Hinterreiter S., Richter K. & Petuschnigg A. 2013: Using bark as a heat insulation material. *BioResources* 8(3): 3718–3731. DOI: 10.15376/biores.8.3.3718–3731
- Kamke F.A. 1989: Thermal conductivity of wood-based panels. In: Hasselman, D.P.H. & Thomas, J.R. (eds): *Thermal conductivity 20. Proceedings of the Twentieth International Thermal Conductivity Conference, held October 19–21, 1987, in Blacksburg, Virginia.* 249–260. ISBN 978-1-4613-0761-7
- Kekkonen P.M., Ylisassi A. & Telkki V.V. 2014: Absorption of water in thermally modified pine wood as studied by Nuclear Magnetic Resonance. *Journal of Physical Chemistry C* 118: 2146–2153. DOI: 10.1021/jp411199r
- Kizilkanat A.B., Kabay N., Akyüncü V., Chowdhury S. & Akça A.H. 2015: Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: An experimental study. *Construction and Building Materials* 100: 218–224. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.006
- Kocaefe D., Poncsak S., Doré G. & Younsi R. 2008: Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water. *Holz Roh Werkstoff* 66: 355–361. DOI: 10.1007/s00107-008-0233-9
- Kol Ş.H. & Sefil Y. 2011: The thermal conductivity of fir and beech wood heat treated at 170, 180, 190, 200, and 212°C. *Journal of Applied Polymer Science* 121(4): 2473–2480. DOI: 10.1002/app.33885
- Korkut S., Aytin A., Taşdemir Ç. & Gurău L. 2013: The transverse thermal conductivity coefficients of Wild cherry wood heat-treated using the ThermoWood method. *ProLigno* 9(4): 649–683. Online ISSN 2069-7430.
- MacLean J.D. 1941: Thermal conductivity of wood. *Heating, piping & air conditioning* 13(6): 380–391.
- Maloney T.M. 1973: Bark boards from four west coast softwood species. *Forest Products Journal* 23(8): 30–38.
- Mitzner R.C. 1973: Durability and maintenance of plywood overlaid with fibreglass reinforced plastic. *American Plywood Association Laboratory Report No. 119 part 3*
- Mitsui K., Inagaki T. & Tsuchikawa S. 2008: Monitoring of hydroxyl groups in wood during heat treatment using NIR spectroscopy. *Biomacromolecules*, 9: 286–288. DOI: 10.1021/bm7008069
- Moradpour P., Pirayesh H., Gerami M. & Jouybari I.R. 2018: Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP; mechanical and physical properties. *Construction and Building Materials* 158: 236–242. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.172
- Murphey W.K. & Rishel L.E. 1969: Relative strength of boards made from bark of several species. *Forest Products Journal* 19(1): 52.



- Nemli G. & Çolakoğlu G. 2005: Effects of mimosa bark usage on some properties of particleboard. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 29: 227–230.
- Osmannezhad S., Faezipour M. & Ebrahimi G. 2014: Effects of GFRP on bending strength of glulam made of poplar (*Populus deltoides*) and beech (*Fagus orientalis*). *Construction and Building Materials* 51: 34–39. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.035
- Pásztor Z., Horváth N. & Börcsök Z. 2017a: Effect of heat treatment duration on the thermal conductivity of spruce and poplar wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 75: 843–845. DOI: 10.1007/s00107-017-1170-2
- Pásztor Z., Mohácsiné R.I. & Börcsök Z. 2017b: Investigation of thermal insulation panels made of black locust tree bark. *Construction and Building Materials* 147: 733–735. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.204
- Pásztor Z. & Ronyecz I. 2013: The Thermal Insulation Capacity of Tree Bark. *Acta Silvatica and Lignaria Hungarica* 9: 111–117. DOI: 10.2478/aslh-2013-0009
- Pavel C.C. & Blagoeva D.T. 2018: Competitive landscape of the EU's insulation materials industry for energy-efficient buildings. PUBSY No. JRC108692 EUR 28816 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg
- Pedieu R., Riedl B. & Pichette A. 2008: Physical and mechanical properties of panel based on outer bark particles of white birch: Mixed panels with wood particles versus wood fibers. *Maderas. Ciencia y tecnología* 10(3): 195–206. DOI: 10.4067/S0718-221X2008000300003
- Pedieu R., Riedl B. & Pichette A. 2009: Properties of mixed particleboards based on white birch (*Betula papyrifera*) inner bark particles and reinforced with wood fibres. *European Journal of Wood and Wood Products* 67: 95–101. DOI 10.1007/s00107-008-0297-6
- Place T.A. & Maloney T.M. 1975: Thermal properties of dry wood-bark multilayer boards. *Forest Products Journal* 25(1): 33–39.
- Place T.A. & Maloney T.M. 1977: Internal bond and moisture response properties of three-layer, wood-bark boards. *Forest Products Journal* 27(3): 50–54.
- Ragland K.W., Aerts D.J. & Baker A.J. 1991: Properties of wood for combustion analysis. *Bioresource Technology* 37: 161–168.
- Rowel R.M., Youngs R.L. 1981: Dimensional stabilization of wood in use. Research Note FPL-0243, Forest Products Laboratory, Forest Service, USDA
- Schiavoni S., D'Alessandro F., Bianchi F. & Asdrubali F. 2016: Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62: 988–1011. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.045
- Seborg R.M., Tarkow H. & Stamm A.J. 1953: Effect of heat upon the dimensional stabilization of wood. *Journal of the Forest Products Research Society* 3(3): 59–67.
- Sekino N. & Yamaguchi K. 2010: Carbonizing binderless wood shaving insulation panels for better insulation and durability. Part 1: Relationship between thermal conductivity and carbonizing temperature. Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee October 11–14, 2010, Geneva, Switzerland. Paper IW-3 pp. 8.
- Stone J.E. & Scallan A.M. 1965: Effect of component removal upon the porous structure of the cell wall of wood. *Journal of Polymer Science: Part C* 11: 13–25.
- Suleiman B.M., Larfeldt J., Leckner B. & Gustavson M. 1999: Thermal conductivity and diffusivity of wood. *Wood Science and Technology* 33: 465–473. DOI: 10.1007/s002260050130
- Tenwolde A., McNatt J.D. & Krahn L. 1988: Thermal properties of wood and wood panel products for use in buildings. USDA Forest Service DOE/USDA-21697/1
- Tjeerdsma B.F., Boonstra M., Pizzi A., Tekely P. & Militz H. 1998: Characterisation of thermally modified wood: Molecular reasons for wood performance improvement. *Holz Als Roh-Und Werkstoff* 56: 149–153. DOI: 10.1007/s001070050
- Tjeerdsma B.F. & Militz H. 2005: Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz Als Roh-Und Werkstoff* 63: 102–111. DOI: 10.1007/s00107-004-0532-8

- Veitmans K. & Grinfelds U. 2016: Wood fiber insulation material. Proceedings 22nd Annual International Scientific Conference „Research for Rural Development 2016” 18–20 May, 2016 Vol. 2: 91–98. ISSN 2255-923X
- Volf M., Diviš J. & Havlíka F. 2015: Thermal, moisture and biological behavior of natural insulating materials. Energy Procedia 78: 1599–1604. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.219
- Wangaard F.F. 1964: Elastic deflection of wood-fibreglass composite beams. Forest Products Journal 14 (6):256–260.
- Windeisen E., Strobel C. & Wegener G. 2007: Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood. Wood Science and Technology 41: 523–536. DOI: 10.1007/s00226-007-0146-5
- Yamauchi H., Pulido O.R., Ma L.F., Miura I. & Sasaki H. 1999: Processing and utilization of sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) barks – preparation and grading of fibers. European Journal of Wood and Wood Products 57: 150–151.
- Yemele M.C.N., Blanchet P., Cloutier A. & Koubaa A. 2008: Effects of bark content and particle geometry on the physical and mechanical properties of particleboard made from black spruce and trembling aspen bark. Forest Products Journal 58(11): 48–56.
- Yin Y., Berglund L. & Salmén L. 2011: Effect of steam treatment on the properties of wood cell walls. Biomacromolecules 12: 194–202. DOI: 10.1021/bm101144m
- Zhou X., Zheng F., Li H. & Lu C. 2010: An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. Energy and Buildings 42: 1070–1074. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.01.020
- Zolfagari A., Behraves A.H. & Shahi P. 2015: Comparison of mechanical properties of wood–plastic composites reinforced with continuous and noncontinuous glass fibers. Journal of Thermoplastic Composite Materials 28(6): 791–805. DOI: 10.1177/0892705713503676

Érkezett: 2020. június 02.

Közlésre elfogadva: 2020. augusztus 10.



Vágástéri hulladék – rossz helyen

A gyorsfolyású hegy- és dombvidéki erek, patakok tisztasága és magas oxigéntartalma számos élőlény (pl. tegzesek, szitakötők) számára biztosítanak speciális életfeltételeket. A képen egy ilyen patak látható a mellette végzett fakitermelés után egy évvel. A vágástéri hulladék patakban való deponálása jelentős mértékben lelassítja a víz sebességét, továbbá a többlet mennyiségű szerves anyag drasztikusan megváltoztatja az élőhelyi körülményeket. Mivel az ilyen élőhelyek száma igen kevés, megőrzésük fontos, mert ezzel hozzájárulhatunk az erdei biodiverzitás fenntartásához.

Fotó és szöveg: Kovács Gyula (NAIK ERTI, Sopron)

A NAIK-ERTI HIDRO-METEOROLÓGIAI MONITORING RENDSZERÉNEK KEZDETI EREDMÉNYEI A 2019. ÉVI MÉRÉSEK ALAPJÁN

Bolla Bence és Szabó András

NAIK-ERTI, Ökológiai és Erdőművelési Osztály

Kivonat

A növekvő időjárási szélsőségek ismerete nemcsak a klíma változása miatt fontos, hanem a természetben, azaz erdőkben lezajló ökofiziológiai folyamatok alaposabb megértése miatt is. Az erdőket is érintő időjárási szélsőségek monitorozására, nyomon követésére a legalkalmasabb egy olyan meteorológiai mérőhálózat létesítése, üzemeltetése, amely elsősorban magas erdősültséggel rendelkező területeken mér és gyűjt adatokat. Az Erdészeti Tudományos Intézet 18 GPRS rendszerű meteorológiai állomást üzemeltet folyamatosan törekedve az országos lefedettségre. A mért adatok feldolgozása során megállapítást nyert, hogy az egyes klimatikus szélsőségek az átlagostól elérő időpontokban jelentkeznek az ország különböző pontjain. Több alkalommal hosszú aszályos időszakok voltak megfigyelhetők (pl.: 2019. március, április), amelyek magas hőmérsékleti értékekkel is párosultak.

A meteorológiai monitoring párhuzamosan futó talajvízszint monitoring rendszer eredményei szintén jelentős különbségeket mutatnak a vizsgált mintaterületek vízháztartási folyamataiban.

Kulcsszavak: meteorológiai monitoring, talajvíz monitoring, klimatikus szélsőségek

EARLY RESULTS OF THE NARIC-FRI HYDROLOGICAL AND METEOROLOGICAL MONITORING SYSTEM

Abstract

The growing extremities of our changing climate has its effects on agriculture, on horticulture and on everyday forestry activities as well. Establishing and maintaining a meteorological monitoring system which measure and collecting data in highly forested areas are the most suitable ways to monitor and keep track of meteorological extremities affecting forests. With the continuous intention to achieve nation-wide coverage, the Forest Research Institute operates 18 GPRS meteorological stations in Hungary. Through analysis of the collected data, we concluded that the meteorological extremities occur at uncommon dates at different points of the country.

The results of the groundwater monitoring system, which is operating alongside the meteorological monitoring, also show significant differences between the hydrological processes of the examined study sites.

Keywords: meteorological monitoring, groundwater monitoring, climate extremities

BEVEZETÉS

Napjainkban a klímaváltozás nem csak a mezőgazdálkodást, hanem az erdőgazdálkodást is próbára teszi (pl.: vízhiány, aszálykár, az egészségi állapot romlása). Az időjárási szélsőségek főleg kedvezőtlen adottságú termőhelyeken nehezítik az erdőgazdálkodók mindennapjait, mert az erdősitések (erdőfelújítás, erdőtelepítés) sikeressége romlik, a szervesanyag-termelés a többletvízhatású termőhelyeken általában visszaesik, továbbá mindezekkel együtt az abiotikus és biotikus károk jelentősen csökkentik a gazdálkodás jövedelmezőségét.

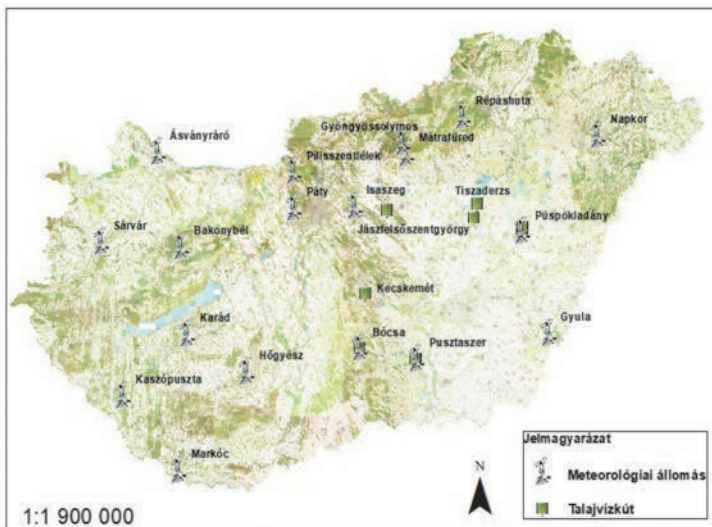
A meteorológia mérések szükségesek az időjárási szélsőségek regisztrálásához, nyomon követéséhez, így a mérőhálózat kiépítése és bővítése mindenképpen kívánatos, különösképpen, ha figyelembe vesszük a csapadék eloszlásának nagyarányú variációját is (Manninger 2017). Ennek jegyében az Erdészeti Tudományos Intézet erdészeti hidro-meteorológiai mérőhálózat kiépítését valósította meg, fókuszálva a klímaváltozás okozta problémák vizsgálatára.

Az meteorológiai mérésekkel és az alföldi erdőállományok vízháztartási jellemzőinek kutatásával Magyarországon az erdészeti szakma már régóta foglalkozik (Belházy 1886, Ijjász 1936, 1938). Ijjász Ervin nevéhez köthető az erdészeti csapadékmérő és talajvíz-megfigyelő hálózat kiépítésére és koncepciója. Az erdészeti meteorológiai mérések jelentőségét a múlt század közepén már Papp László is leírta (Papp 1957). Keresztesi Béla munkájában kijelölt mintaterületeken vizsgálta egyes fafajok gyökérmélységét, amely a későbbiekben fontos iránymutatással szolgált az alföldi erdőállományok kapilláris zónából történő vízfelviteléhez (Keresztesi 1969). Járó Zoltán gödöllői mintaterületein vizsgálata az egyes erdőállományokra ható meteorológiai jelenségeket és az erdők vízháztartásában betöltött szerepét (Járó 1980, Járó & Sitkey 1995). Erdészeti Mérő- és Megfigyelő Rendszer az Intenzív monitoring keretein belül és a Soproni Egyetem 1996-tól végez automatizált meteorológiai méréseket és adatgyűjtést. Az erőben lezajló mikroklimatikus viszonyokat Vig Péter és Justyák János vizsgálta (Vig & Justyák 1997), az intercepcióval kapcsolatos kutatásokat Kucsara Mihály vezette (Kucsara 1998). Manninger Miklós és munkatársai a csapadék és a hőmérséklet hatását vizsgálták bükkös mintaterületen (Manninger et al 2012). Vízforgalmi modellezéshez felhasznált automatizált, erdészeti, meteorológiai méréseket Gácsi Zsolt és Móricz Norbert folytatott (Gácsi 2000, Móricz et al 2011). A klímaváltozás okozta hatások vizsgálatával és annak előrejelzésének módszereivel Gálos Borbála és Führer Ernő publikált részletesen (Führer et al 2011, Führer 2018, Gálos & Führer 2018). Az új erdészeti hidro-meteorológiai mérőhálózat kiépítése a közelmúltban vette kezdetét (Borovics et al 2018).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A gazdálkodási tevékenységek (erdősítések kivitelezésnek módszere és időpontja, az erdősitendő fafajok megválasztása, ápolások tervezése stb.) tervezhetősége érdekében a helyi meteorológiai mérések kiemelt jelentőséggel bírnak. Ennek érdekében a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Erdészeti Tudományos Intézete jelenleg 18 GPRS rendszerű meteorológiai állomást üzemeltet (1 ábra). Az állomások elhelyezésénél minden esetben törekedtünk a nagyobb erdőszűlességű tájakat előnyben részesíteni, így közelítve az országos lefedettséghez. A mérőhálózat 2014-ben indult 6 helyszínen (Püspökladány, Kecel, Karád, Pilis-szentlélek, Sárvár, Napkor, Kaszói). 2018-ban további 11 állomás (Ásványráró, Bócsa, Markóc, Hőgyész, Páty, Isaszeg, Bakonybél, Gyula, Mátrafüred, Gyöngyössolymos, Répáshuta) került felszerelésre.

A kihelyezett állomások típusa a Boreas Kft. által gyártott Agromet-Solar meteorológiai állomás. Az állomások segítségével mérhetjük a szélirányt, szélesebbséget, globálsugárzást- napfénytartamot, hőmérsékletet, páratartalmat, szabad területi csapadékot, talajnedvességet és talajhőmérsékletet. A talajnedvességet és a talajhőmérsékletet 4 rétegben mérjük (10 cm, 25 cm, 50 cm, 70 cm) a kijelölt helyszíneken. A gyűjtött adatokat a GPRS-es adatgyűjtők továbbítják a szerver felé további feldolgozás céljából.



1. ábra: A meteorológiai állomások és talajvízszint monitoring kutak elhelyezkedése
 Figure 1: Location of meteorological stations and groundwater monitoring wells

A NAIK ERTI a meteorológiai állomásokon túl, talajvízszint monitoring kutakat is működtet az Alföldön. Ennek alapját egy korábbi OKTA pályázat (OTKA NN79835) adta, melynek keretén belül 30 monitoring kút létesült. Jelenleg ebből 17 db üzemel 7 mintaterületen (Jászfelsőszentgyörgy, Bócsa, Pusztaszer, Tiszaderzs, Kunhegyes, Püspökladány) Minden mintaterületen az erdei mintapont(ok)hoz kapcsolódóan, található egy nem fászszerű növényzettel borított kontrollpont is, így lehetőség van a különböző vegetációtípusok alatti talajvízszint változások összehasonlítására. A kutakban nyomássonidákhoz kapcsolt Dataqua, DA-S-URC 227 típusú adatgyűjtők 15 percnként regisztrálják a talajvízszint aktuális mélységét. Az említetteken túl, a NAIK ERTI kezelésében vannak továbbá talajvízszint monitoring kutak Kaszó és a Szigetköz területén is.

Jelen munkánk során azokat a mintaterületeket válogattuk ki további elemzésre, ahol a talajtextúrában nincsenek nagy különbségek sem az egyes mintapontok szelvényeiben sem az erdő és kontrollpontok közt. Így későbbiekben a jászfelsőszentgyörgyi és az egyik püspökladányi mintaterület eredményei kerülnek bemutatásra. Az 1. táblázat ezen mintaterületek legfontosabb paramétereit mutatja be.

1. táblázat: A talajvízszint monitoring pontok fő paramétereit
 Table 1: Main parameters of the groundwater monitoring sites

Pont száma	Községhatár	Pont típusa/ Faj	Vizsgált időszak	Talajtextúra*	EOV Y	EOV X
12	Jászfelsőszentgyörgy	NNY	2019.04.01. – 10.31.	vályogos homok	704553	237336
13	Jászfelsőszentgyörgy	KST		homokos vályog	704652	237650
14	Jászfelsőszentgyörgy	Kontroll		homokos vályog	704700	237487
127	Püspökladány	KST	2019.01.01. – 09.30.**	vályog	804615	223939
128	Püspökladány	Kontroll		vályog	804519	224874

*A talaj pipettás módszerrel meghatározott átlagos fizikai félesége a szelvény teljes mélységére.

**A püspökladányi mintaterület időszakosan nem megközelíthető, ezért az adatok csak a megadott időpontban álltak rendelkezésre

*Average soil texture category of the whole soil profile defined by pipette-method

**The study site at Püspökladány was temporary not approachable. Data is only available from the given period.

ADATOK FELDOLGOZÁSA

Csapadék karakterisztika

Az állomások éves kumulált csapadék adatait a legcélszerűbb csapadék összeggörbén ábrázolni, így tudjuk következtetni a csapadék-karakterisztika alakulására a görbék hirtelen emelkedése, vagy ellaposodásának segítségével. A napi csapadékösszegek alapján a száraz és nedves időszakok váltakozását vizsgálhatjuk görbe segítségével, figyelembe véve a görbék hirtelen emelkedését, vagy ellaposodását (Faccini et al 2015).

Walter–Lieth klímadigram

A hőmérséklet és a csapadék összefüggését látványosan lehet szemléltetni a Walter–Lieth klímadigrammal (Walter & Lieth 1960), még rövidebb időszakra vonatkozóan is. Az általánosan elterjedt hőmérséklet-csapadék diagramokhoz képest előnye, hogy segítségével a vízellátottság is megbecsülhető (humid és aszályos időszakok). A diagramon az vizsgált év havi átlaghőmérséklet-adatai (piros vonal), a havi csapadékösszegek (kék vonal), valamint a csapadék és hőmérsékletengelyek 3:1 arányú eltolásával megrajzolt havi csapadékkértékek (kék szaggatott vonal) is szerepelnek, mely utóbbiak segítségével lehetséges az erdészeti klímakategóriák elkülönítése (4. ábra).

Potenciális evapotranszpiráció

A potenciális evapotranszpiráció közelítő becslését a Dunay–Posza –Varga-Haszonits-féle összefüggés alapján végeztük el. Segítségével a léghőmérséklet és a relatív nedvesség ismeretében számítható a napi potenciális evapotranszpiráció (PET)(Varga-Haszonits et al 2015, Varga-Haszonits &Varga 2014). Azaz:

$$PET = \frac{1-f}{2-f} \cdot t \quad (1),$$

ahol: PET = Potenciális evapotranszpiráció (mm/nap)

f = a relatív nedvesség napi közepe (%)

t = napi középhőmérséklet (°C)

Légköri szárazság

A légköri szárazság esetében időtartamot (h) adtunk meg a vizsgált évet illetően. A légköri szárazság ebben az esetben azt fejezi ki, hogy adott időszak alatt mennyi ideig (h) volt egyidejűleg a léghőmérséklet 30 C° felett és a páratartalom 40% alatt (Szász & Tőkei 1997).

Erdészeti szárazsági index (FAI)

Amely során a kritikus hónapok (július, augusztus) átlaghőmérsékletét elosztjuk a fő növekedési szakasz csapadékösszegével, melyben a legmelegebb és a legalacsonyabb páratartalmú július csapadéka dupla súllyal szerepel, majd mindezt 100-zal megszorozzuk (Führer 2010, Führer et al 2011, Führer 2018).

$$FAI = 100 \cdot (T_{\text{átlag(VII-VIII)}}) / (P_{V+VI+2 \cdot VII+VIII}) \quad (2),$$

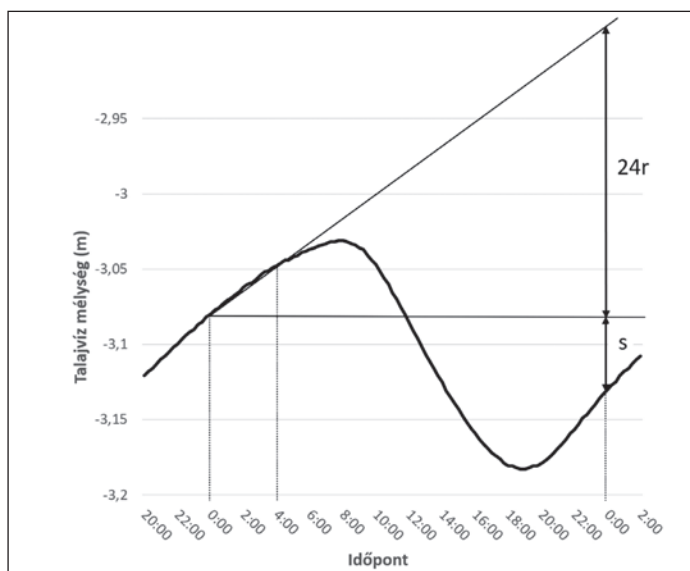
ahol: FAI: Erdészeti szárazsági mutató

$T_{\text{átlag(VII-VIII)}}$: A kritikus hónapok (június és augusztus) átlaghőmérséklete (°C)

$P_{V+VI+2 \cdot VII+VIII}$: A fő növekedési szakasz csapadékösszege, melyben a júliusi csapadék dupla súllyal szerepel (mm)

Vízfelvétel a kapilláris zónából (White-módszer)

A faállományok talajvízfelvételének napi mértéke a White-módszer segítségével került meghatározásra (White 1932, Loheide et al 2005). A módszer arra a feltételezésre alapul, miszerint a késő éjjeli, kora hajnali időszakban (0–4 óra között) az evapotranszpiráció elhanyagolható mértékű, így a talajvízállás növekedési rátája ebben az időszakban megegyezik a talajvíz utánpótlódásával. A görbéhez ebben az időszakban húzott egyenes irántangense (r), tehát megmutatja az egységnyi idő (pl.: 1 óra) alatti talajvíz-utánpótlódás mértékét. Amennyiben ezt az utánpótlódási rátát, evapotranszpiráció jelenléte nélkül, meghosszabbítanánk 24 órán keresztül, akkor a talajvízszint 24r magasságra emelkedne. Az evapotranszpiráció jelenlétében ugyanakkor általában a növekedés helyett, egy nap alatt még egy (s) értékkel jellemezhető csökkenés is beáll a talajvízszintben (Gribovszki et al 2009). A módszert a 2. ábra mutatja be szemléletesen.



2. ábra: A White módszer sematikus ábrázolása (Gribovszki et al 2009 alapján)
 Figure 2: Schematic representation of the White-method (based on Gribovszki et al, 2009)

A fentiek ismeretében az evapotranszpirációs vízfogyasztást a következőképp számíthatjuk ki:

$$ET = S_y(24r \pm s) \quad (3),$$

ahol: S_y a talajra jellemző fajlagos hozam (dimenzió nélküli)
 r a vízutánpótlás hatására bekövetkező elméleti talajvízszint emelkedés (m),
 s a talajvízszint különbség (pozitív vagy negatív) az előző nap azonos időpontjához képest (m).

Az S_y definíció szerint azt a vízmennyiséget jelenti, amelyet egységnyi alapterületű talaj (mint víztartó) bocsát ki, vagy fogad be egységnyi vízszintváltozás hatására:

$$S_y = V_w / (A \cdot \Delta h) \quad (4),$$

ahol: A a víztartó vizsgált alapterülete (m^2),
 V_w a kibocsátott vagy befogadott vízmennyiség (l),
 Δh a vízszintváltozás (m).

Maga a módszer robusztus, ugyanakkor az Sy pontos meghatározása nehézkes, mivel értéke a talajvíz aktuális mélységétől, és a talajtextúrától egyaránt függ. A pontos Sy meghatározásában Loheide (2005) munkája nyújt segítséget ugyanakkor a folyamat során felmerülő bizonytalanság miatt eltekintettünk Sy értékének a számításokban való szerepeltetésétől. Emiatt az állományok vízfelvételét dimenzió nélküli számértékekkel tudjuk csak jellemezni. Mivel a vizsgált mintaterületekhez tartozó pontok textúrája mind a szelvényeken belül, mind egymással összevetve homogénnek tekinthetőek ezért az így számított értékek is alkalmasak az adott mintaterületen belül az erdei és kontrollpontok alatti talajvíz felvétel dinamikájának összehasonlítására.

Az Sy értéke talajtextúrától függően 0,3 és 0,01 között mozoghat (Loheide 2005). Ezért, illetve az állományok eltérő vízfelvétele miatt, a kapott eredmények akár több nagyságrendnyi eltérést is mutathatnak az egyes mintaterületek közt.

Fontos tehát kiemelni, hogy az általunk számított vízfelvételi értékek csak egy adott mintaterületen belül hasonlíthatók össze egymással. Azok semmiképp nem tekinthetőek abszolút, mm-ben megadott párolgási értékeknek ezért az említett nagyságrendi eltérések sem jelentenek valós nagyságrendi különbségeket az egyes mintaterületek állományainak vízfelvételében.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Meteorológiai monitoring

Az áttekinthetőség kedvéért a 2019-es év meteorológiai alapadataiból készült összegző és származtatott adatokat táblázatos formában közöljük a 18 meteorológiai állomás esetében (2. táblázat). A 2019-es évben volt lehetőségünk első alkalommal, egyszerre a 18 állomást üzemeltetni, a mérőhálózatot bővíteni, tehát a következőkben ez évi adatok tudjuk áttekinteni. A keletkezett adathiányok pótlására az Országos Meteorológiai Szolgálat adatait használtuk fel (Püspökladány, Karád, Pilisszentlélek, Hőgyész, Ásványráró esetében).

2. táblázat: 2019-es összegző és származtatott adatok
Table 2: Summary and derived data in 2019

Helyszín	Csapadék (mm)	Átlag-hőmérséklet (C°)	Átlag-páratartalom (RH %)	Potenciális párolgás (mm)	Halmazott légköri szárazság (h)	Erdészeti szárazsági mutató (FAI)
Püspökladány	466,2	12,1	75,6	897,2	49,7	6,4
Sárvár	686,6	11,5	77,6	814,5	11,3	6,5
Napkor	428,8	11,7	75,8	906,2	23,8	5,8
Karád	541,5	12,1	77,8	971,6	10,0	8,8
Pilisszentlélek	625,2	10,9	79,1	857,4	3,5	7,0
Gyöngyössolyos	666,1	10,1	76,5	782,4	0,0	5,2
Markóc	631,0	11,7	76,4	628,9	15,3	6,2
Hőgyész	1000,2	11,6	75,6	777,1	34,3	5,7
Mátrafüred	609,8	11,9	73,7	957,3	11,7	6,3
Réppáshuta	865,3	9,2	82,0	539,7	0,0	3,3
Bócsa	560,1	12,1	70,1	922,7	135,3	7,1
Páty	461,3	12,0	75,6	937,1	50,2	8,6
Bakonybél	672,7	11,1	79,0	754,7	10,5	6,3
Gyula	495,8	12,2	79,9	769,5	31,2	9,8

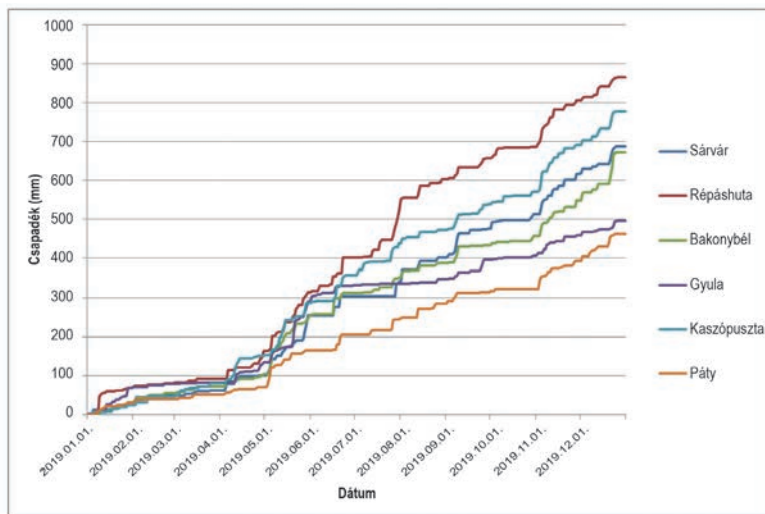
A 2. táblázat (folytatás)
 Table 2. (cont.)

Helyszín	Csapadék (mm)	Átlag-hőmérséklet (C°)	Átlag-páratartalom (RH %)	Potenciális párolgás (mm)	Halmozott légköri szárazság (h)	Erdészeti szárazsági mutató (FAI)
Isaszeg	549,0	10,2	80,0	796,9	53,1	5,3
Pusztaszér	413,2	12,5	72,4	926,1	64,5	7,8
Ásványráró	540,8	11,6	71,7	779,6	20,0	8,1
Kaszópusztá	776,3	11,8	78,9	782,9	9,8	5,3

A csapadék és hőmérséklet

A csapadék alakulása helyszínenként változatosnak mondható, több esetben az átlagosnál több csapadék hullott éves szinten (pl.: Hőgyészen 1000,2 mm csapadék hullott), de azok eloszlása nem mondható egyenletesnek.

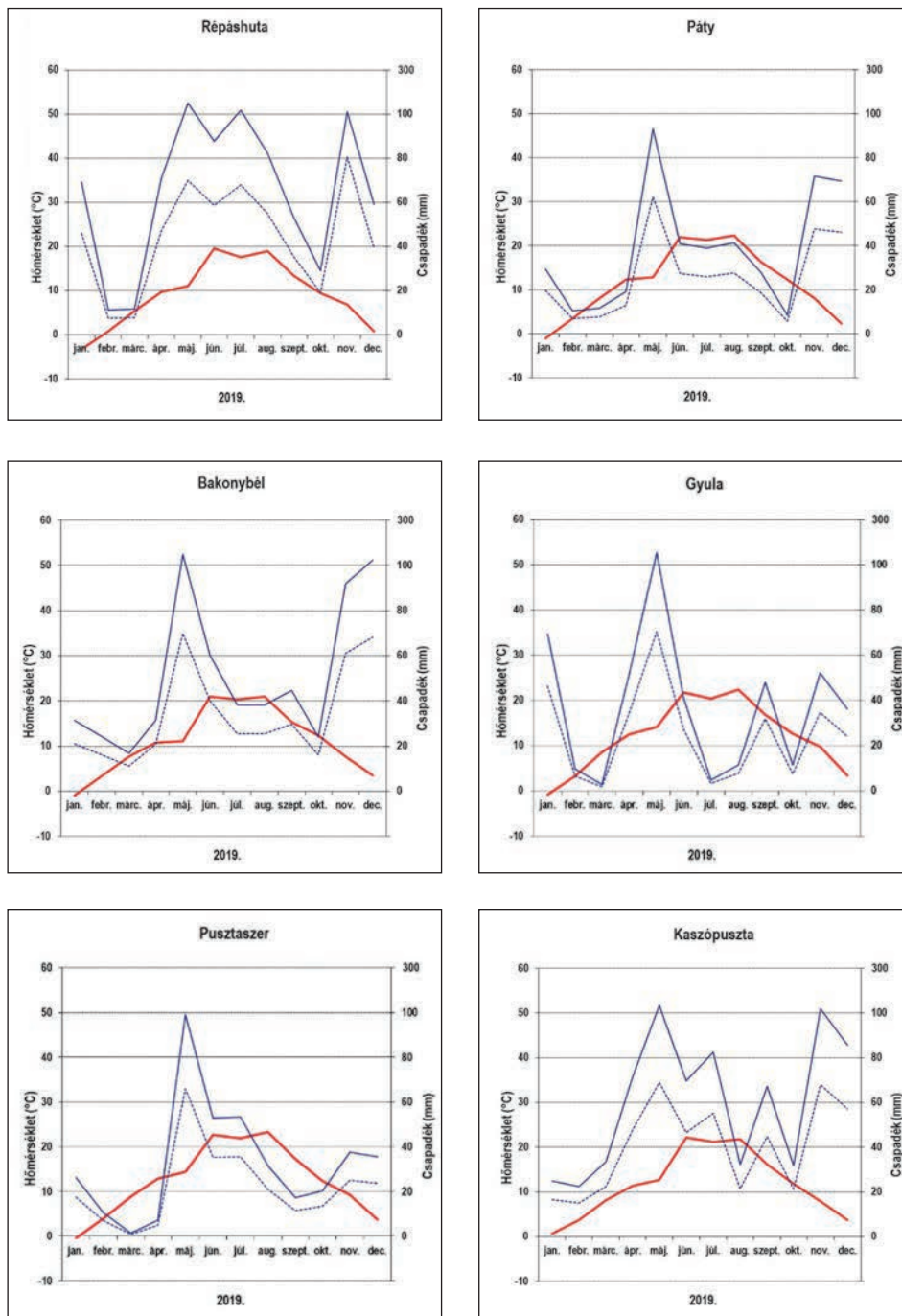
A mintaterületek éves csapadékösszegek közötti különbség is rámutat, hogy a csapadék éves eloszlása olykor szélsőséges lehet. A görbe ellaposodása a csapadékmentes időszakokra utal, a hirtelen emelkedése a csapadékos időszakokat jelzi (3. ábra). Megvizsgálva a görbék lefutását elmondható, hogy országos szinten is mutatkoznak egyezések (pl.: a májusi nagy mennyiségű csapadék esetében), valamint eltérések is (Pl. Répáshután a fő növekedési hónapokban (májustól–augusztusig) több mint 400 mm csapadék hullott, ezzel szemben Gyulára alig több, mint 200 mm csapadék érkezett). A több évnvi megfigyelés megbízhatóbb vizsgálatot eredményezhet egy-egy szélsőséges év adatainak elemzése helyett.



3. ábra: A kumulált csapadék alakulása 6 állomás esetében
 Figure 3: Cumulated precipitation at 6 meteorological station

Megvizsgálva a Walter–Lieth klímadiagram összefüggéseit láthatjuk, hogy több alkalommal hosszú aszályos periódusok voltak megfigyelhetőek (pl.: 2019. március, április), mely a magas hőmérsékletben, a hosszú csapadékmentes időszakokban is megmutatkozott (4. ábra). Napkoron 2019 augusztusában az havi hőmérsékleti átlag több, mint 23 °C volt. A hőmérsékleti maximum meghaladta a 35 °C augusztus 12-én.

Az alföldi állomások esetében a nyári hónapokban figyelhetőek meg hosszabb aszályos időszakok július, augusztus hónapokban. Humid és szuperhumid időszak a nagy mennyiségű májusi csapadékok miatt tavasszal jelentkezik több állomás esetében.



4. ábra: A hőmérséklet és a csapadék változása a Walter-Lieth klimadiagram összefüggései alapján [havi átlaghőmérséklet (piros vonal), a havi csapadékösszegek (kék vonal) és annak redukált értékei, 3:1 arányú csapadék- ill. hőmérséklet-tengelyeknek megfelelően (kék szaggatott vonal)]

Figure 4: Changes of temperature and precipitation based on Walter-Lieth climate diagram [monthly average of the temperature (red line), monthly precipitation (blue line), reduced monthly precipitation According to 3:1 precipitation and temperature axes (blue dotted line)]

Páratartalom (légnedvesség)

A szokottnál melegebb, aszályos időszakokat és az alacsony (napi) csapadékösszegeket jól visszaadják a relatív páratartalom értékei. Jellemzően a márciusi, áprilisi, valamint a június és a júliusi értékek elmaradnak az ilyenkor megszokott légnedvesség-tartalomaktól (75–85%). Az augusztusi hónapokban a növekedett a relatív páratartalom mértéke. Pozitív anomália (100% feletti nedvességtartalom) a mérési időszakban nem mutatkozott. A legnagyobb negatív változás (a 100%-os értéktől való eltérés) napi légnedvesség tekintetében 2019 áprilisában volt tapasztalható. Július hónap átlagos 14 órai páratartalma Répáshután 58,8%, Bócsán 45,7%, Pusztaszeren 41,4%.

Globálsugárzás (napfénytartam)

A legmagasabb havi átlagérték Pusztaszeren (270 W/m²) júliusban jelent meg, a legalacsonyabb Répáshután (29 W/m²) pedig januárban volt érzékelhető. Napi átlagértékek közül a legmagasabb júliusban és augusztusban többször volt mérhető: 296 W/m² Pusztaszeren, a legalacsonyabb 2019. január 8-án 1,22 W/m² szintén Répáshután. Minden állomás esetében hasonló lefutás jellemzi a globálsugárzás alakulását.

Szélirány és szélesebesség

A legmagasabb átlagszélesebesség a 2019-es évben 2,62 m/s Pusztaszeren, a legalacsonyabb Marócon 1,12 m/s volt. A legszelesebb nap Pusztaszeren november 13-i volt, ekkor a napi átlagos szélesebesség: 8,71 m/s. A legnagyobb szélökés szintén Pusztaszeren február 22-én volt tapasztalható, amikor 21:40-kor 18,9 m/s-os szélökéseket regisztrált a meteorológiai állomás. A legszelesebb hónap január volt, havi átlagos szélesebesség 1,81 m/s az összes állomás esetében. Az uralkodó szélirány jellemzően az észak-nyugati volt, de a melegebb őszi, tavaszi és nyári hónapokban több alkalommal tartósan a déli áramlás volt jellemző. A legtöbb szeles nap (162) Pusztaszeren fordult elő (vagyis amikor a szél legerősebb lökésének sebessége eléri, vagy meghaladja a 10 m/s-t). A legkevesebb szeles nap (43) Isaszegen volt tapasztalható.

Talajnedvesség és talajhőmérséklet

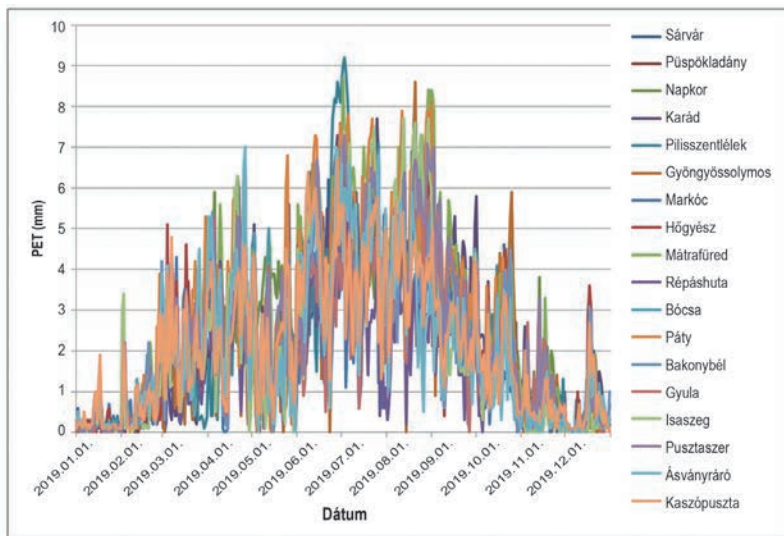
A talajnedvesség alakulása minden állomás esetében a megszokott trendszerű változásokat mutatta. A vegetációs időszakban alacsonyabb, míg a nyugalmi időszakban magasabb értékek kerültek regisztrálásra. Az alacsonyabb nedvesség értékeket a nyári fokozott párolgás is elősegítette a felső talajrétegben (0–10 cm). A csapadék alakulására 70 cm-en mért nedvesség értékek reagáltak a legkevésbé.

2019 nyarán igen alacsony talajnedvesség adatok tapasztalhatóak a gyenge termőképességű homoktalajokon (pl.: Bócsán 2019. augusztus 12-én: 2,1%, Pusztaszeren 2019. szeptember 23-án: 2,1%, ugyanakkor Répáshután 2019. augusztus 28-án 14,2%, Bakonybélben 2019. augusztus 18-án 30,1% 10 cm-es mélységben).

A talajhőmérséklet esetében a lehidegebb január 21-én Répáshután volt mérhető (0,3 °C) legfelső talajrétegben (0-10 cm). A legmelegebb Bócsán szintén a legfelső talajrétegben 26,6 °C június 16-án.

Potenciális párolgás (PET)

Az egyes állomások esetében napi potenciális párolgási érték meglehetősen eltérő az alföldi vagy éppen az egyes hegyvidéki mérési helyszínek között. Általánosságban elmondható, hogy a potenciális párolgás értéke július hónapban volt a legmagasabb. Több hegyvidéki (Bakonybél, Répáshuta) állomás esetében alacsony potenciális párolgási értékek is megfigyelhetők, ugyanakkor a pilisszentléleki állomás esetében volt a legmagasabb napi potenciális párolgási érték (9,2 mm). További érdekesség, hogy a szigetközi állomás esetében a legmagasabb napi párolgási érték (7 mm) április végén volt jellemző.



5. ábra: A potenciális párolgás (PET) napi változása 18 állomás esetében
Figure 5: Daily changes of potential evapotranspiration at 18 meteorological stations

A legalacsonyabb havi csapadékösszeg (4,8 mm) Napkoron 2019 augusztusában volt mérhető, ezzel szemben a magas havi potenciális párolgási érték 142,6 mm jellemezte a mintaterületet. A legmagasabb éves potenciális párolgási érték (971,7 mm) Karádon, a legalacsonyabb éves potenciális párolgási érték (539,7 mm) pedig Répáshután volt a Varga-Haszonits módszer alapján elvégezett számítások szerint. Répáshután májustól októberig a napi potenciális párolgási értékek jóval elmaradnak (átlagosan 30%-kal) a többi állomás esetében számított értékektől.

Légköri szárazság

Halmozott légköri szárazság a gyöngyössolymosi és a répáshutai mérőhelyeken nem volt kimutatható. Bócsán volt a legmagasabb a számítható légköri szárazság értéke, összesen 135,3 h a 2019-es évben. Érdekes módon a Pátyon és Isaszegen is meghaladta az 50 h-t a halmozott légköri szárazság értéke, az erdőszült környezet ellenére. A legmagasabb napi légköri szárazság értékek Bócsán augusztus 20-án 9,5 h volt. Két alkalommal augusztus végén is meghaladta 7 h-s értéket a napi halmozott légköri szárazság (augusztus 28-án 7,2 h, augusztus 29-én 8,5 h).

Erdészeti szárazsági index (FAI)

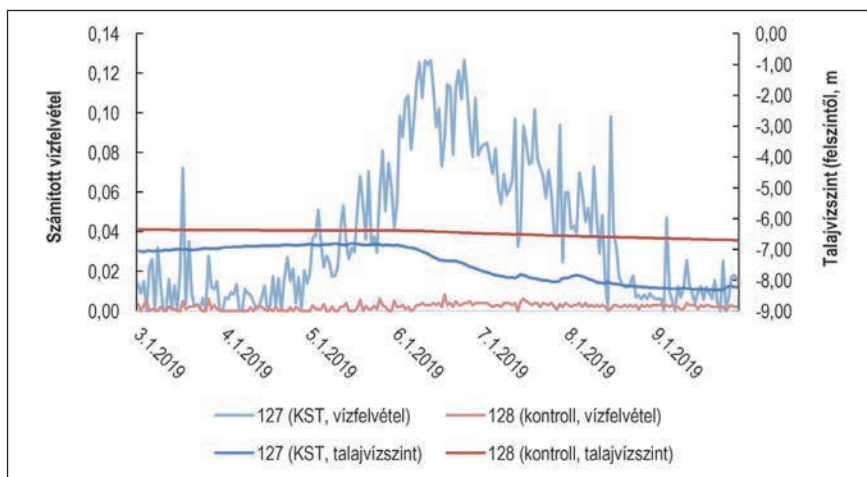
Az erdészeti szárazsági index tekintetében több esetben is találkozhatunk érdekes eltérésekkel a 2019-es évben. Pátyon, Karádon, Gyulán, Pusztaszeren és Ásványráróra a FAI értéke igen magas (erdősztyep klíma), ami mindenképpen jelentősen eltér a várt eredményektől. Ennek oka a kevesebb nyári csapadék és a magasabb átlaghőmérsékletben keresendő. Kocsánytalan tölgyes ill. cseres klíma uralkodott Püspökladányban, Sárváron, Pilisszentléleken, Markócon, Mátrafüreden, Bócsán és Bakonybélben, míg a többi helyszínt Répáshuta kivételével, ami bükkös klímájú volt, gyertyános klíma jellemezte. A számított értékek természetesen csak egy évre vonatkoznak, melyekből egyelőre messzemenő következtetéseket nem lehet levonni. A jövőben mindenképpen fontos paraméter lesz az erdészeti szárazsági index az egyes erdőszült mintaterületek klímájának körületekintő jellemzéséhez.

Talajvíz monitoring

A White-módszer segítségével kapott számított vízfelvételi értékek értelmezéséhez szükséges kihangsúlyozni, hogy a módszer a vegetációs időszakban jelentkező, a 2. ábrán bemutatott jellemző napi talajvízszint ingadozáson alapul. Ezért a segítségével számított értékek a vegetációs időn kívül, vagy nem tipikus napi vízállás esetén jelentős kiugrásokat mutathatnak, a talajvíz emelkedése esetén pedig a kapott érték akár negatív is lehet. Ezek értelemszerűen nem a valós párologtatás értékét adják vissza. Emiatt csak a vegetációs időszakra vonatkozó adatok kerülnek bemutatásra.

Püspökladány

A Püspökladány-Farkaszigeten található mintaterület esetében a talajvízszint és a vízfelvétel viszonya, továbbá az egyes növényzeti kategóriák (fás- és lágyszárú) alatti talajvízszint ingadozások az előzetes várakozásoknak megfelelően alakultak (6. ábra).



6. ábra: A talajvíz ingadozás és számított vízfelvételi értékek 2019-ben, Püspökladányban
 Figure 6: Groundwater fluctuation and calculated water-uptake values in 2019 at Püspökladány

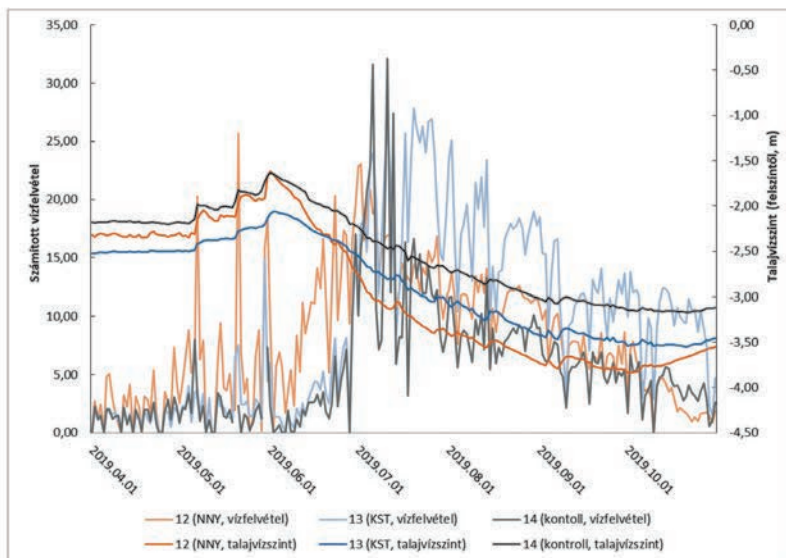
Az erdőnél a számított vízfelvételi értékek április végén – május elején kezdtek emelkedni, június végén tetőztek és augusztus vége felé álltak vissza a vegetációs időszakot megelőző szintre. A talajvíz némi késéssel követte a folyamatot, legsekélyebben május 16-án, volt (6,81 m) volt süllyedése csak ezután indult meg. Ez arra utal, hogy az április vége és május közepe közötti időszakban a területen az éjszakai visszatöltődés képes volt pótolni a vegetációs időszak elején felvett vízmennyiséget.

A kontrollpont esetében gyakorlatilag a teljes megfigyelt időszakra folyamatos talajvízszint csökkenés volt jellemző (minimális mélység: január 1., 6,31 m), ugyanakkor ebben a trendben éles törést jelent a május végi időszak. Ez után, a korábbiakhoz képest, sokkal fokozottabb mértékű talajvíz süllyedés figyelhető meg. Szintén ettől az időponttól a számított napi vízfelvétel magasabb értéken stabilizálódott. Ez az érték ugyanakkor így is egy nagyságrenddel alacsonyabb volt, mint az erdő alatti területen.

Érdekes jelenség, hogy a több, mint 6 méter mélyen elhelyezkedő talajvíz ellenére annak ingadozása továbbá a számított vízfelvételi értékek is egyértelműen tükrözik a fotoszintézis éves és napi szintű változását, továbbá a növényzeti kategóriák közötti különbségeket is. Ezek alapján feltételezhetjük, hogy a megfigyelhető jelenségek mögött a növényzet vízfelvétele áll. Ugyanakkor a kapcsolat részletei még nem tisztázottak, feltételezhetően a folyamatokban az felszín alatti oldalirányú vízmozgás is szerepet játszik.

Jászfelsőszentgyörgy

A jászfelsőszentgyörgyi mintaterület esetében ismét világosan látható az összefüggés a számított evapotranszpirációs értékek és a talajvíz közt (7. ábra).



7. ábra: A talajvíz ingadozás és számított vízfelvételi értékek 2019-ben, Jászfelsőszentgyörgyön
Figure 7: Groundwater fluctuation and calculated water-uptake values in 2019 at Jászfelsőszentgyörgy

A nyugalmi időszakra jellemző visszatöltődés június első napjaiig érezte hatását: a talajvízszint legsekélyebben a 12-es (nemesnyár), és a 14-es (kontroll) pontok alatt június 1-én (1,62 és 1,64 m-en), a 13-as pontnál (kocsányos tölgy) pedig június 2-án és 3-án (2,07 m-en) volt. Az evapotranszpirációs értékek szintén június elején kezdtek emelkedni, ami arra utal, hogy a vizsgált állományok közvetlen módon hasznosítják a talajvizet. Ezt a feltételezést alátámasztja a talajvíz sekély elhelyezkedése, továbbá az, hogy területet jellemző talajtextúra (vályogos homok-homokos vályog) esetében a kapilláris vízemelés elérheti a 25–30 cm-t is (Szabó-Kozár 1983).

Érdekes ugyanakkor, hogy a két vizsgált faj eltérő vízfvételi dinamikát mutat, ami a vízszintek változásában is tükröződik. A nyár vízfvétele rögtön június elején igen nagymértékben megnövekszik, míg a másik két pont esetében jóval kisebb emelkedés tapasztalható. Ennek megfelelően, a nyár alatt az állomány alatt a talajvízszint is meredekebben süllyed olyannyira, hogy a két erdőállomány alatti vízszintkülönbség a június 22–24. közötti időszakra eltűnik. Ezután már a nyár alatt volt regisztrálható mélyebb talajvízszint. Július elejétől ugyan a tölgy vízfvétele mutat magasabb értékeket, de csak október elejétől csökken ismét érzékelhetően a különbség a két állomány alatt mért talajvízszint között. Az év vége felé haladva látható, ahogy a két állomány vízfvétele közti különbség fokozatosan eltűnik, a visszatöltődés hatására.

A mintaterület további érdekessége, hogy a számított evapotranszpirációs értékek és a talajvízszint éves ingadozása is arra utal, hogy a kontrollpont lágyszárú növényzete is képes hasznosítani a talajvizet. Ezt a már korábban említett tényezők (sekély talajvíz, erőteljes kapilláris vízemelés) teszik lehetővé.

JÖVŐBELI TERVEK

A továbbiakban mindenképpen nagy jelentősége lesz az erdészeti meteorológiai mérőhálózat működésének, bővítésének, figyelembe véve a tapasztalható időjárási szélsőségeket, melyek fokozott aszálykárt és romló egészségi állapotot eredményezhetnek, így nagyban befolyásolják a napi erdőgazdálkodási tevékenységet.

A mérőhálózattal kapcsolatos kutatások további célja, hogy minél pontosabb képet kapjunk az alföldi erdő-állományok vízfelvételének folyamatairól, illetve ezek kapcsolatáról a talajvíz dinamikájával.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció megírását a GINOP-2.3.3-15-2016-00042 „Növénytermesztési rendszerek klímaváltozási válaszreakciójának, és adaptációs lehetőségeinek kutatása” pályázat támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Belházy J. 1886: Az erdő befolyása a levegő átlagos hőfokára, és a levegő hőfokának hatáira. Erdészeti Lapok 25(4): 287–29.
- Borovics A. 2018: Erdészeti klímaközpont kialakításának szükségessége és lépései. Erdészettudományi Közlemények 8(2):5–8.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. „KLÍMA-21” Füzetek 61: 98–107.
- Führer E., Marosi Gy., Jagodics A. & Juhász I. 2011: A klímaváltozás egy lehetséges hatása az erdőgazdálkodásban. Erdészettudományi Közlemények 1(1): 17–28.
- Führer E. 2018: A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. Erdészettudományi Közlemények 8(1):27–42.
- Faccini F., Giostrella P., Lazzeri R, Melillo M., Raso E. & Roccati A. 2015: The 10th November 2014 flash-flood event in Chiavari city (Eastern Liguria, Italy), Rendiconti online della Società Geologica Italiana 35:124–127.
- Gácsi Zs. 2000: A talajvízszint észlelés, mint hagyományos, s a vízforgalmi modellezés, mint új módszer Alföldi erdeink vízháztartásának vizsgálatában. Doktori (Ph.D) értekezés, NYME, 69–93.
- Gálos B. & Führer E. 2018: A klíma erdészeti célú előrevetítése. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 43–55.
- Gribovszki Z., Kalicz P. & Szilágyi J. 2009: Napi periódusú ingadozás a hidrológiai jellemzőkben. Hidrológiai Közlöny 89(2)23–37.
- Ijjász E. 1936: Az erdészeti altalajvízmegfigyelések eredményeinek rövid ismertetése. Erdészeti Lapok 71(9–10):820–829.
- Ijjász E. 1938: Az erdő szerepe a természet vízháztartásában. Hidrológiai Közlöny 18(1):416–445.
- Járó Z. 1980: Intercepció a gödöllői kultúr erdei ökoszisztémában, Erdészeti Kutatások 73 (1):7–17.
- Járó Z. & Sitkey J. 1995: Az erdő és a talajvíz kapcsolata, Erdészeti Kutatások 85(1):35–49.
- Keresztesi B. 1969: Beszámoló a Nemzetközi Biológiai Program (IBP) „A gyökérszféra és a rizoszféra élő szervezetek produktivitásának módszerei” című szimpóziumáról (Moszkva–Leningrád–Dusanbe, 1968. augusztus 28. – szeptember 12.). Erdészeti Kutatások 65(1):329–363.
- Kucsara M. 1998: Az erdő csapadékviszonyainak vizsgálata. Vízügyi Közlemények, 80(3):456–475.
- Loheide S.P., Butler J.J., & Gorelick S.M. 2005: Estimation of groundwater consumption by phreatophytes using diurnal water table fluctuations: A saturated-unsaturated flow assessment. Water Resources Research 41:W07030.
- Manninger M., Edelény M., Pödör Z. & Jereb L. 2012: A hőmérséklet és a csapadék hatása a bükk növekedésére In: Bíróné Kircsi A (ed): Magyar Meteorológiai Társaság XXXIV. Vándorgyűlés és VII. Erdő és Klíma Konferencia, Magyar Meteorológiai Társaság (MMT), 45–46.
- Manninger M. 2017: A csapadék változatosságának vizsgálata. Erdészettudományi Közlemények 7(2): 99–113.



- Móricz N., Berki I. & Rasztovits E. 2011: A Nagyalföld erdeinek állapota és hatásuk a talajvízszintre – In: Rakonczay J. (ed): Környezeti változások és az Alföld, Nagyalföld Alapítvány kötet 7, Nagyalföld alapítvány, Békéscsaba, 119–126.
- Papp L. 1957: Az erdészeti meteorológiai kutatás jelentősége. *Az Erdő* 92(9):348–353.
- Szabó-Kozár J. 1983: Növénytermesztési alapismeretek, Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest
- Szász G. & Tőkei L. 1997: Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Varga-Haszonits Z., Tar K., Lantos Z. & Varga Z. 2015: Párolgási formulák összehasonlítása a mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján, *Növénytermelés* 64(3): 77–96.
- Varga-Haszonits Z. & Varga Z. 2014: A meteorológiai tényezők és a növényfejlődés közötti kapcsolat modellezésének módszertani alapjai, *Acta Agronomica Óváriensis: Nyugat-Magyarországi Egyetem Mosonmagyaróvári Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Kar Közleményei* 56(1): 53–74.
- Vig P. & Justyák, J. 1997: Az erdő mikroklimája In: Szász G. & Tőkei L.: Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek. Budapest, Magyarország, Mezőgazda Kiadó, 543–563.
- Walter, H. & Lieth, H. 1960: Klimadiagramm-Weltatlas, Fisher, Jena
- White, W.N. 1932: Method of estimating groundwater supplies based on discharge by plants and evaporation from soil - results of investigation in Escalante Valley, Utah. US. Geological Survey, Water Supply Paper 659-A: 1–105.

*Érkezett: 2020. május 20.
Közlésre elfogadva: 2020. szeptember 01.*

QUO VADIS ERDÉSZETI SZAPORÍTÓANYAG-TERMESZTÉS? II. (ERDÉSZETI SZAPORÍTÓANYAG-TERMESZTÉS A II. VILÁGHÁBORÚ UTÁN)

Frank Norbert¹ és Lett Béla²

¹Soproni Egyetem, Erdőművelési és Erdővédelmi Intézet

²Soproni Egyetem, Erdővagyon-gazdálkodási Intézet

Kivonat

A II. világháború után megkezdődött a központilag szervezett szaporítóanyag-gazdálkodás szervezése, kialakítása. A magántulajdonú csemetekerteket felváltották az állami erdőgazdaságok kis vándorcsemetekertjei, melyek a szükséges szaporítóanyagot az erdőfelújítások és erdőtelepítések közelében termelték meg. Az 1955-ben kiadott *Csemetetermelési utasítás* már a minőségi csemetetermelés gyors javítását tűzte ki célul, ennek érdekében megkezdődött a csemetetermelés koncentrálása, melynek következtében az 1949 és 1979 között a regisztrált csemetekertek száma 1126-ról 566-ra csökkent. Tanulmányunk célja ezen időszakra vonatkozó csemetetermelési és -felhasználási tendenciák elemzése, egyes fajokra, fajcsoportokra vonatkozó adatok, változások elemzése. Összességében megállapítható, hogy a vizsgált időszakban jelentős mértékben csökkent a csemetekertek száma, változott a megtermelendő fajok mennyisége, aránya, és mindezeket az időbeni egyenletlenség jellemzi. Az általunk vizsgált tervgazdálkodásos időszakban az évente megtermelt és felhasznált csemeték mennyiségének különbsége átlagosan 66,89 millió darab volt; a termelési többlet az 1975-ös évben érte el a legalacsonyabb értéket (21,1 millió darab). A vizsgált periódus átlag bruttó csemetekerti területe 3396 hektár; az átlag csemetekerti területnagyság viszont az 1954–1959-es 2,55–2,26 hektárról az időszak végére (1979) elérte a 5,45 hektárt, azaz az időszakra jellemző átlagterületet (3,5 hektár) 1,95 hektárral meghaladta.

Kulcsszavak: erdészeti szaporítóanyag, csemetekert, csemetetermelés és -felhasználás aránya

QUO VADIS FOREST REPRODUCTIVE MATERIAL PRODUCTION? (FOREST REPRODUCTIVE MATERIALS PRODUCTION AFTER THE 2ND WORLD WAR)

Abstract

After World War II, the forest reproductive material sector was radically reorganized based on central policy instructions, especially in the management and ownership structure. Privately owned forest nurseries have been replaced by small local nurseries of state forest companies, which have produced the necessary reproductive materials next to reforestation and afforestation projects. The Central Instruction for Seedling Production, issued in 1955, already set the goals of rapidly improving quality seedling production, for which purpose the seedling production was concentrated. During the period of 1949–1979, the number of registered forest nurseries decreased from 1,126 to 566. The aim of our study is to analyze the process and trend of seedling production and use over this period and to analyze the data and changes of certain tree species and groups of tree species. Overall, the number of nurseries was significantly decreased during

Levelező szerző/Correspondence:

Frank Norbert, 9400 Sopron, Bajcsy-Zs. E. u. 4., frank.norbert@uni-sopron.hu



the period under review, the volume of seedlings produced and proportion of tree species were also changed, unevenly over time. In the centrally planned economy period we examined, the difference in the amount of seedlings produced and used per year averaged 66.89 million; the production surplus reached its lowest level in 1975 (21.1 million). The average gross nursery area of the studied period was 3,396 hectares but the average area from 5.55–2.26 hectares in 1954–1959 increased to 5.45 hectares by the end of the period (1979), thus it exceeded the average area typical for the period (3.5 hectares) by 1.95 hectares. Keywords: forest reproductive material, forest nursery, rate of seedling production and use

BEVEZETÉS

„Az erdőgazdálkodásban olyan szaporítóanyagot kell felhasználni, amely lehetővé teszi a környezethez jól alkalmazkodott, genetikailag változatos erdei ökoszisztémák kialakulását, a természeti rendszerek és a biológiai fajok, taxonok evolúciós képességének megőrzését, és amelytől egyúttal az erdők élőfakészletének növelése, a faanyag minőségének javulása, illetve az erdők környezetre gyakorolt jótékony hatásának megőrzése és javítása kellő biztonsággal elvárható. Természetközeli erdők esetében az adott ökológiai feltételekhez jól alkalmazkodott, genetikailag kielégítően sokszínű és mikroevolúciós képességű, valamint a fatermesztés céljainak is megfelelő mennyiségi és minőségi tulajdonságokat felmutató származások minősített szaporítóanyagának alkalmazását kell elősegíteni. Faültetvények esetében nagy hozamú és ökológiailag kielégítően stabil fajták fajtaazonos és fajtatiszta szaporítóanyagát kell felhasználni” (Bach et al 2015).

Jelen tanulmány a II. világháborút követő 35–40 év hazai szaporítóanyag-termesztésének alakulásának elemzésével foglalkozik, megkísérelve az ok-okozati összefüggések feltárását; célja tovább az 2015-ben megjelent *Változások az erdei szaporítóanyag-gazdálkodásban 1982–2014 között (Quo vadis erdészeti szaporítóanyag-termesztés?)* (Bach et al 2015) kutatásunk „folytatása”, a II. világháborút követő időszak szaporítóanyag-termesztésének, -gazdálkodásának vizsgálatára.

Az *Erdőművelési Utasítás Erdőgazdasági Nemzeti Vállalatok, Üzemvezetősége és Védkerületvezetők számára* (1949) megfogalmazott irányelvek alapján az ország területe hét egységre lett felosztva: Budapest-Hegyvidék; Győr; Szombathely, Zalaegerszeg; Kaposvár–Pécs, Budapest–Síkvidék, Dunaártér; Eger, Miskolc. Az Utasítás az egyes egységekre vonatkozóan javaslatokat nyújtott a fajajmegválasztáshoz, melynek során nemcsak az őshonos, hanem az idegenhonos fafajok közül is lehetett választani.

Az 1040/1954. (V.27.) MT határozat az erdőgazdasági termelés fejlesztéséhez szükséges intézkedésekről jelen tanulmányunk szempontjából legfontosabb általános megállapításai az alábbiak:

- *Az erdőfelújításoknál és erdőtelepítéseknél az elültetett csemete minősége és a rossz munka miatt, a fejlődés ellenére még alacsony a megmaradás.*
- *Az erdőtelepítések és fásítások széles körű kiterjesztése az ország erdőben szegény vidékein helyi faanyagtermelő bázis létesítését teszi lehetővé és jelentős segítséget biztosít a mezőgazdaságnak az aszály és talajpusztulás elleni harcban. A gyorsan növvő fafajok felkarolása és elegyes erdők létesítése a termelési idő megrövidítését és nagyobb mennyiségű fa termelését eredményezi.*
- *A felsorolt hibák mielőbbi kiküszöbölése és az erdőgazdasági termelés fejlesztése érdekében szükséges az erdőtelepítések és fásítások további elterjesztése, a minőségi csemetetermelés megszervezése, az erdőápolás, fakitermelés és erdőfelújítás szabályozása, az erdők feltártságának növelése, az erdei munkák gépesítésének meggyorsítása s az erdőgazdasági termelés szakirányításának, az erdészeti oktatásnak, a tudományos munkának és propagandának megjavítása.*
- *A termelőszövetkezeteknek, legelőbirtokosságoknak és egyénileg gazdálkodó dolgozó parasztnak a fásítások elvégzéséhez az erdőgazdaságok nyújtsanak segítséget ingyenes szaktanácsadással, tervkészítéssel és ingyenes csemetejuttatással.”*

Az említett rendelet kiemeli, hogy a felszabadulás után megkezdődött az erdők fafajösszetételének „javítása” a fenyők és a gyorsan növényes nemesnyárok telepítésével, valamint elkezdődött a mezővédő erdősávok létesítése és a legelőfásítás.

Toma Ádám (1953) szerint „Mivel erdőművelésünk célja helyreállítani a kívánatos fafaj szerinti megoszlást, távlati tervünk ilyen tekintetben a következő arányok elérését irányozza elő:

- a fenyő terület több mint négyszeres,
- a nyár területe több mint kétszeres,
- az akácé változatlan,
- a bükké némileg nagyobb
- a cseré fele lesz a jelenlegi területüknek.”

A hatvanas évektől kezdődően a kellő mennyiségű és szakképzettségű, csemetekertben alkalmazható munkaerő egyre kevésbé állt rendelkezésre. A munkaerő és a gépesítési gondok enyhítésére, valamint a csemetetermesztés korszerűsítése céljából számos újítás került bevezetésre: hidegágyakba való teljes vetés, paper-pot gépsor alkalmazása, Nisula-féle tekerces csemetetermelés (Halász 1982).

Az említett rendelet III. fejezete (A csemetetermelés és a tenyésztendő fafajok) foglalkozik a csemetetermelés helyzetével, problémáival; ezek közül kiemelendő:

- „Az új erdőtelepítések, mezőgazdasági fásítások és mesterséges erdőfelújítások sikerének biztosítására gondoskodni kell a szükségleteknek megfelelő minőségű és fajfajú csemeték termeléséről és lehetőleg törekedni kell minden termőhelyen elegyes állományok létesítésére. A szükségleteknek megfelelő csemeték termelési kötelezettségét öt évre előre meg kell állapítani és biztosítani kell, hogy három éven belül minden erdőgazdaság facsemetében önellátó legyen. Gondoskodni kell a megfelelő mennyiségű, fajfajú és jóminőségű mag gyűjtéséről, valamint dugványanyag termeléséről. A tenyésztendő fafajok megválasztásánál biztosítani kell a termőhelyeknek megfelelő gyorsan növényes fafajok nagymértékű elterjesztését. Fokozott figyelmet kell fordítani gyümölcsfák (dió, szelídgesztenye, vadcsereesznye stb.) ültetésére is.
- A fásításoknál és új erdőtelepítéseknél az akác és nemesnyár tenyésztésre alkalmas minden talajon, ezeket a gyorsan növényes értékes fafajokat kell elsősorban alkalmazni. A szőlő- és gyümölcsstermelő vidékeken elő kell segíteni elkülönített akácültvények létrehozását, szőlőkaró és más vékony faválasztékoknak 3–5 év alatt való termelése érdekében. A bányák közelében fekvő, arra alkalmas területeken ipari akácosokat kell telepíteni bányafa termelés céljából. A természeti adottságok jobb kihasználása és ezáltal nagyobb mennyiségű és jobb minőségű fa termelése érdekében törekedni kell lehetőleg minden termőhelyen elegyes állományok létesítésére. Az elegyarány tervezésénél az értékesebb fafajokat előnyben kell részesíteni.”

Az Erdőtelepítési és fásítási utasítás (1959) szerint (a) a bükk, a tölgy, valamint az egyéb lombos fafajokat előnyben kell részesíteni a fajfajmegválasztás során, és mindezt a cser, a gyertyán és a kőris „rovására” kell elvégezni; (b) a nem őshonos fafajok közül kiemeli az utasítás a vöröstölgyet és a feketediót, mint „erdőtelepítés szempontjából jelentős és már bevált” fafajokat; (c) hogy a fenyők „csak kisebb mértékben engedhetők meg.” Az erdeifenyőről megjegyzi az utasítás, hogy nem csak a délnyugati és nyugati országrészek mutat kiváló fejlődést és jó növekedést, ezért ezen fafaj jelenleg is és a jövőben is a legelterjedtebb tűlevelű fánk marad. Továbbá a rendelet a vörösfenyő szálankénti elegyítéssel történő ültetését javasolja a számára minden alkalmas termőhelyen, mivel gyér lombozatával az egyéb fafajok növekedését nem akadályozza.

Megemlítendő továbbá, hogy az erdészeti szakemberek lelkesedése eredményeként az első hároméves tervet (1947–1950¹), a kitűzött határidő előtt 7 hónappal sikerült befejezni, melynek eredményeképpen 116

¹1947. évi XVII. törvénycikk a hároméves gazdasági tervről. 1. § Magyarország gazdasági és szellemi felemelkedésének meggyorsítása,



ezer hektár erdőfelújítás valósult meg; a csemetekertek összterülete az 1946. évi 635 hektárról 1949 végéig 1100 hektárra nőtt (Halász 1982).

Az 1958-ban megjelent *Erdészeti maggazdálkodási utasítás* az állami és állami kezelés alatt álló erdőkre vonatkozóan az 1960-ig elérendő állapot tekintetében mintegy 337 millió db csemete szükségletet prognosztizált, és az ország ültetési anyagszükségletét 530,8 millió db csemetében határozta meg.

Ezen időszak hazai csemetetermelését jól jellemzi Bondor (1972), megállapítása: „A csemetetermelés nehézségeit fokozza, hogy az erdőgazdaságok anyagilag alig voltak érdekelve a szaporítóanyag-termelés fejlesztésében. A csemetetermelés ágazat a fagazdasági vertikum termelési értékének mindössze 1–2%-át adja, ezért fejlesztés szempontjából – vállalati szinten – erősen háttérbe szorult. Fokozza ezt a vállalati tendenciát felvevő piac bizonytalansága. Az elmúlt évek gyakorlatában általános volt, hogy a megrendelt tételeket – hitelhiányra, területhiányra, vagy területkiengedési adminisztrációs kérdésekre hivatkozva – a megrendelők az utolsó pillanatban visszamondták.”

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatokhoz szükséges adatok a fellelhető és rendelkezésre álló összefoglalókból, kimutatásokból kerültek begyűjtésre, ezek közül is elsősorban az erdőgazdálkodás és a faipar helyzetével kapcsolatos átfogó, statisztikai jellegű munkákat (Halász 1960, Halász 1966, Halász 1982, Halász 1994.) tanulmányoztuk át. Ennek során vizsgáltuk egyrészt a csemetekertek összterülete, valamint az összes csemetetermelés és –felhasználás, másrészt pedig az erdőgazdálkodás akkori szempontjai szerint meghatározó fafajok termelésének és felhasználásának alakulását. Az előző tanulmányunkhoz hasonlóan (Bach et al 2015) vizsgáltuk a csemetetermelés főbb statisztikai mutatóit a tölgy, cser, akác, nemesnyár, hazai nyár a fenyők esetén.

Szakmapolitikai szempontból meghatározó, e szakterület adatait feldolgozó kiadványok, tan- és szakkönyvek, jogszabályok, valamint a kollégák „visszaemlékezése” jelentős mértékben hozzájárultak az elemzések eredményeinek pontosításához

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A II. világháború utáni 10 évben jelentősen nőtt az állandó csemetekertek száma, majd ezt követően fokozatosan csökkent a '70-es évek elejéig, majd pedig – többé-kevésbé – állandósult. Ezzel szemben az adatokat tanulmányozva egyértelműen megállapítható, hogy csemetekerti átlagos terület fokozatosan és folyamatosan emelkedett (1. táblázat).

A II. világháborút követően meginduló újjáépítési időszak az erdőgazdálkodás számára is nagy kihívást jelentett, mely egyrészt az erdőfelújítási hátralékok csökkentését, másrészt az újjáépítéshez feltétlenül szükséges faanyag megtermelését, kitermelését illetően.

valamint demokratikus rendjének megszilárdítása céljából és a lakosság életszínvonalának javítása 1947. augusztus 1. napjával kezdődő és a 3. § (2) bekezdése szerint közzéteendő hároméves gazdasági tervet kell alkalmazni, amely a termelőerők fokozását, okszerű felhasználását és a különböző termelési ágak összhangját a nép egyetemes érdekében biztosítja. E törvény indoklásában többek között az olvasható, hogy „A fasizmus által reánk kényszerített háború okozta pusztítások eltüntetése és a romok helyén egy új, virágzó ország felépítése az egész Magyarország vágya és törekvése. A cél elérése súlyos erőpróbát kíván. Hogy a dolgozók ennek érdekében minden áldozatra hajlandók, a mögöttünk lévő két és félszázéveszt mindennél ékebben bizonyítja. Országunk további szociális és kulturális fejlődése azonban attól függ, hogy az állam minden személyi és anyagi erejét latba tudja-e vetni a gazdasági és kulturális újjáépítés munkájában. Ez csak határozott terv és egységes irányítás mellett lehetséges. Ezért minden intézkedést meg kell tennünk, ami a fentemlített cél megvalósítását biztosítja.”

Az 1. táblázat adataiból szerkesztett grafikonon jól látható, hogy az állami erdőgazdaságok lombcsemete termelése az 1960-as évek elejéig meghatározó volt, majd pedig nagymértékben csökkent (1. ábra). A módosított tervtörvény² szerint új erdőt az eredeti ötéves tervben³ előirányozottakkal szemben a tervezett 28 800 hektár helyett 46 000 hektáron kellett telepíteni, továbbá a facsemeteszükséglet biztosítására a facsemetekertek területét kb. 1500 hektárról 3800 hektárra kellett növelni. (1954-re a csemetekertek bruttó területe elérte a 3867 hektárt.) A fenyőcsemete-termelést a „nagyfokú szétszórtság és bizonytalanság” jellemezte, továbbá fenyőcsemete-termeléssel 1969 végén mindössze 201 csemetekertben foglalkoztak (Keresztesi & Solymos 1978).

1. táblázat: Csemetekertek darabszáma, területe (Halász 1960, 1966, 1994 alapján, saját szerkesztés)
Table 1: Number of forest nurseries and their area (based on Halász 1960, 1966, 1994, own editing)

Megnevezés/év		1949	1954	1956	1958	1959	1964	1970	1975	1979
Száma (db)	Állandó	n.a.	853	865	1017	801	792	395	369	n.a.
	Ideiglenes	n.a.	663	820	563	761	441	356	218	n.a.
	Összes	1 126	1 516	1 685	1 580	1562	1233	751	587	566
Terület (ha)	Lomb	n.a.	1852	1746	1243	1635	904	501	525	571
	Fenyő	n.a.	329	422	358	414	294	306	273	242
	Hasznosított	801	1778	2 508	2237	2500	2625	1 582	1 653	2 002
	Művelhető	986	3469	3 191	3062	3191	3734	2 641	2 396	2 698
	Összes bruttó	1110	3867	3 528	3459	3527	4135	2 890	2 739	3 087
Átlagos terület (ha/db)		0,99	2,55	2,41	2,19	2,26	3,35	3,84	4,67	5,45

Az I. ötéves terv (1950–1954⁴) a népgazdaság gyorsabb fejlődése érdekében az erdőgazdálkodás területéről megemlíti a védőerdősávok létesítésének, a sok évtizedes rablógazdálkodás káros következményeinek felszámolásának, az erdők faállomány növelésének, az erdőfelújítások, valamint az erdőtelepítések – elsősorban a futóhomokon, valamint az Alföld szikes területein – elvégzésének szükségességét.

A II. hároméves tervtörvény az erdőgazdálkodás fejlesztése tekintetében előírta mintegy 50 ezer hektár új erdő létesítését, ezen belül 23 ezer hektáron nyártelepítést. Ezzel egyidejűleg elkezdett csökkenni a fenyőcsemete termelés, míg a tölgyé eleinte lassabb, majd intenzív növekedést mutatott (2. ábra). Keresztesi (1956) véleménye szerint az erdőgazdaságok területén „valamelyest” növelni kell a nemes-tölgyek és a bükk arányát, és vissza kell szorítani a gyertyán, valamint a csert, valamint „meg kell kettőzni a nyárak és a fenyők arányát. (Amennyiben a termőhelyi viszonyok lehetővé teszik, javasolja a hazai és a nemesnyár telepítését is.)

A 1960-as évek közepétől azonban ismét a fenyőcsemete-termelés jelentős növekedését tapasztalhatjuk, ami nem véletlen, hiszen „Különösen fontos a gyorsan növő fafajok – a nemes- és hazai nyárak, a fűz, a nyír, az éger, az akác, részben a platán-, a hárs-, a vöröstölgy- és fenyőtelepítések előtérbe hozása.” (Babos 1954).

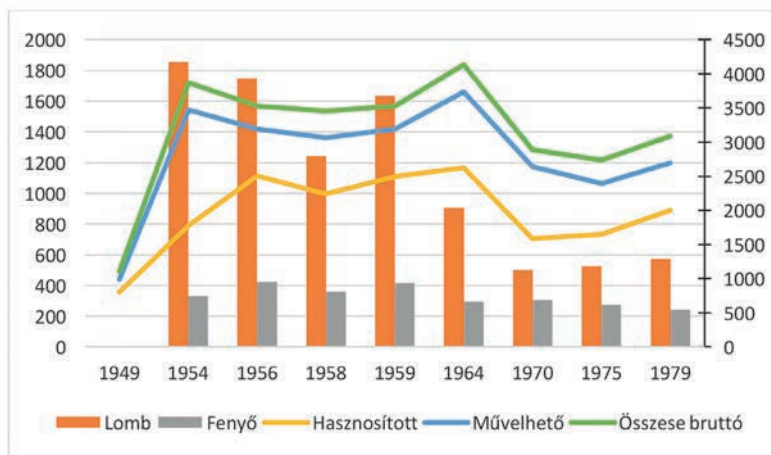
A csemetetermelés egyenletességének vizsgálatához a rendelkezésre álló egyes lombos fafajok adataiból kiszámoltuk a variációs koefficiens, valamint a lombos és a fenyő összes adatokból képzett variációs

²1951. évi II. törvény az ötéves tervről szóló 1949. évi XXV. törvény módosításáról

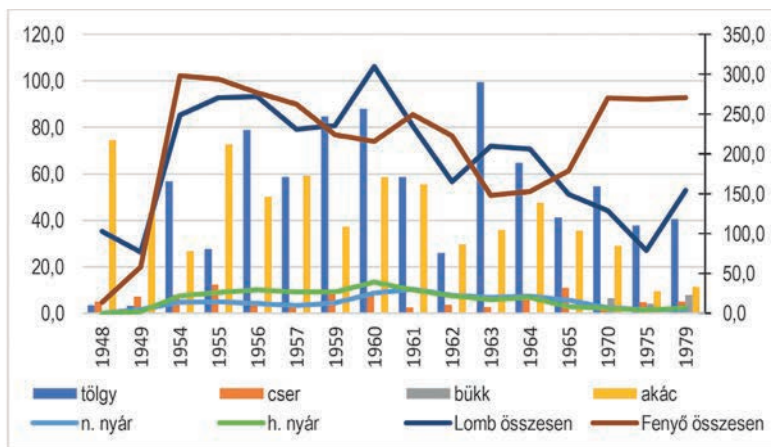
³1949. évi XXV. törvény a Magyar Népköztársaság első Ötéves Népgazdasági Tervéről

⁴1949. évi XXV. törvény a Magyar Népköztársaság első Ötéves Népgazdasági Tervéről

koefficiens is. Az eredmények jól mutatják azt az előzetesen feltételezésünket, hogy ezen időszak alatt a csemetetermelés nem tekinthető egyenletesnek (2. táblázat). (A tölgy és a fenyő esetében a későbbi időszakra (1982–2014) is a termelés szélsőséges változásait mutatták ki a szerzők (Bach et al 2015).)



1. ábra: A lombos és a fenyőcsemete által elfoglalt terület, valamint a csemetekertek összeterületének változása 1949 és 1979 között hektárban (Halász 1960, 1966, 1994 alapján)
 Figure 1: Area occupied by produced foliage and pine seedlings and the changes of area of forest nurseries during the period of 1949 and 1979 (based on Halász 1960, 1966, 1994)

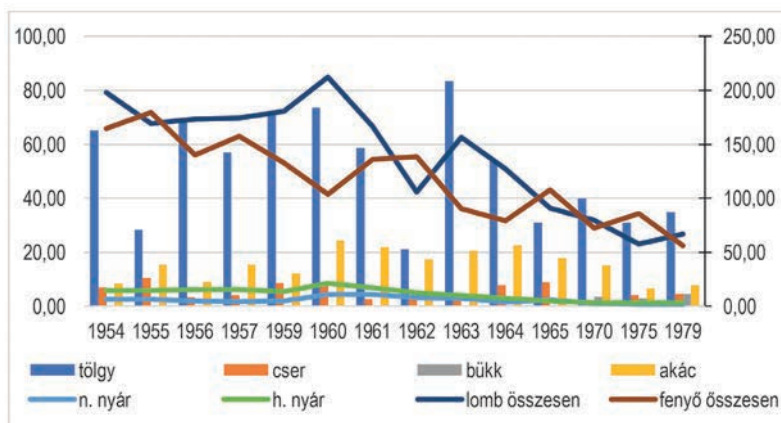


2. ábra: Főbb fajok csemetetermelésének, valamint a csemetetermelés összesített értékeinek változása 1948 és 1979 között (millió db) (Halász 1960, 1966, 1994 alapján)
 Figure 2: Changes in seedling production of major tree species and changes in seedling production in aggregate values during the period of 1948 and 1979 (million) (based on Halász 1960, 1966, 1994)

2. táblázat: A csemetetermelés statisztikai mutatói főbb fajcsoportok szerinti bontásban (1948–1979)
 Table 2: Statistical data and values of forest reproductive material produced, clustered by most significant tree species in Hungary (1948–1979)

Faj/fajcsoport	MIN	MAX	TERJED	MAX/MIN	Átlag	Szórás	CV
	millió db	millió db	millió db	arány	millió db /év	millió db	%
tölgy	3,1	99,4	96,3	32,1	51,5	28,4	55
cser	2,5	12,2	9,7	4,9	6,1	3,1	51
akác	9,4	74,5	65,1	7,9	42,2	19,2	45
nemesnyár	3,9	29,7	25,8	7,6	14,4	7,9	55
hazai nyár	2,0	38,9	36,9	19,5	18,8	11,1	59
lombos összesen	78,5	310,0	231,5	3,9	192,1	72,0	37
fenyő összesen	13,5	298,4	284,9	22,1	212,7	83,5	39

A rendelkezésre álló adatok alapján elemeztük a vizsgált időszak csemetefelhasználásának alakulását. Általánosan megállapítható, hogy a csemetefelhasználás trendje az egész időszak alatt csökkenő, azonban a tölgycsemete felhasználás 1963-ban elérte a 83,31 millió db-ot (3. ábra). A természetes erdőfelújítás aránya az összes erdőfelújításhoz képest, az 1946. évi 92,5%-ról az 1958–1960-as időszakra 6%-ra csökkent. (A III. ötéves időszakra (1966–1970) viszont kis mértékben emelkedett, és elérte a 11,3%-ot. (Danszky 1973)).



3. ábra: Főbb fajfajok csemetetermelésének, valamint a csemetefelhasználás összesített értékeinek változása 1954 és 1979 között (millió db) (Halász 1960, 1966, 1994 alapján)

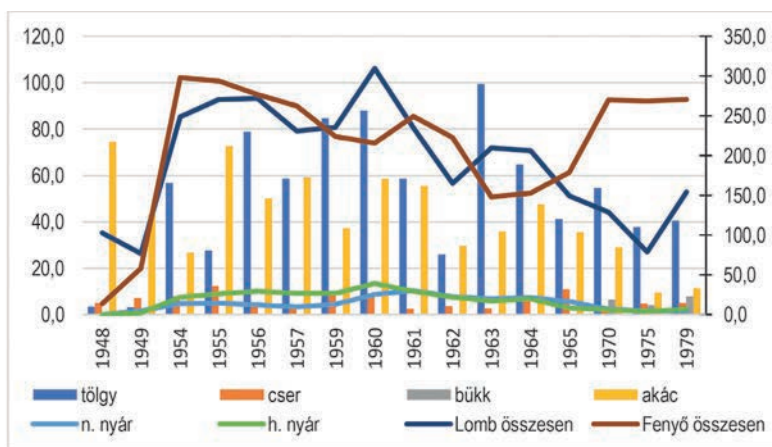
Figure 3: Changes in seedling use of major tree species and changes in seedling use in aggregate values during the period of 1954 and 1979 (million) (based on Halász 1960, 1966, 1994)

Az ún. földvédelmi törvény⁵ jelentős mértékben kihatott az erdőtelepítésekre, hiszen olyan területek beerdősítését is gátolta, melyek gazdaságos hasznosítása az erdő művelési ág lett volna. Ennek eredményekép-

⁵1961. évi VI. törvény a mezőgazdasági rendeltetésű földek védelméről.

pen megjelenik az erdőtelepítések súlypontja áthelyeződik az állami erdőgazdaságok kezelésében lévő területekre, így a Hanságban 1150 hektár összefüggő nemesnyáras erdőtelepítését rendelték el (Halász 1982).

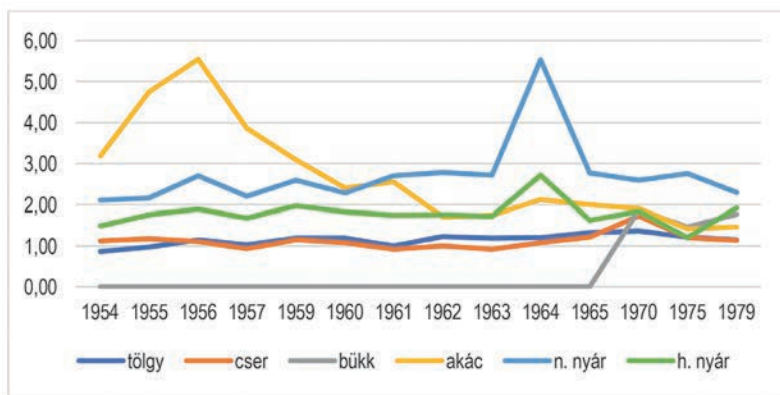
A tendenciák jobb megértése érdekében elkészítettük a csemetetermelés és -felhasználás egységes grafikonját is, melynek célja e két folyamat ok-okozati viszonyainak feltárása, illetve értelmezése. Ennek megfelelően az időszak csemetetermelés és -felhasználás változása szerint a lombos fafajok esetén az 1950-es években bizonyos állandóság (~250 millió csemetetermelés) jellemző, az 1960. év kiemelkedő értéke (310



4. ábra: A lombos csemete-termelés és -felhasználás változása (millió db) (Halász 1960, 1966, 1994 alapján, saját szerkesztés)
Figure 4: Changes of production and use of broadleaved species (million) (based on Halász 1960, 1966, 1994, own editing)

millió db) néhány év alatt ismét jelentős mértékben csökken, melynek oka alapvetően az 1961. évi ún. földtörvény, illetve annak további hatása (4. ábra).

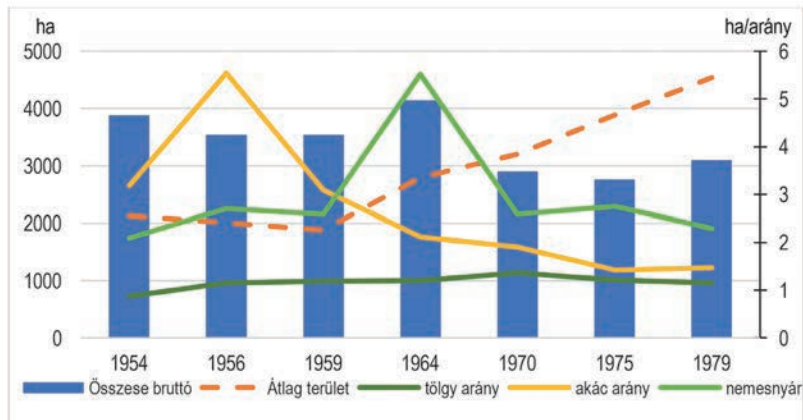
A vizsgált időszakban az évente megtermelt és felhasznált csemeték mennyiségének különbsége átlagosan 66,89 millió darab volt; a termelési többlet az 1975-ös évben érte el a legalacsonyabb értéket (21,1 millió darab). A csemetefelhasználás csökkenéséhez az is hozzájárult, hogy az 33/1962. (IX.12.) Korm. rendelet az erdőkről és a vadgazdálkodásról szóló 1961. évi VII. törvény végrehajtásáról az erdőgazdálkodás alapelvei



5. ábra: Egyes fafajok csemetetermelés és -felhasználás arányának alakulása (Halász 1960, 1966, 1994 alapján, saját szerkesztés)
Figure 5: Changes in the rate of seedling production and use of some tree species (based on Halász 1960, 1966, 1994, own editing)

között megemlíti (Vhr. 44.§ (3)), hogy „Erdőfelújítások során kiterjedt mértékben alkalmazni kell a magról történő természetes felújítás módszerét.”

A fent említett és elemzett általános trenden túl elemeztük néhány, rendelkezésünkre álló fajfa csemetetermelés és -felhasználás arányát, illetve annak változását (5. ábra) (Megjegyezzük, hogy a csemetefelhasználás tekintetében csak az erdőfelújításhoz és az erdőtelepítéshez felhasznált csemetéket vettük figyelembe.) Célunk annak vizsgálata volt, hogy az általános trend alapján levont következtetések minden fajra igazak-e, vagy van(nak) olyan fajfa(ok), mely(ek) jelentős mértékben eltérnek ettől. Megállapítható, hogy az akác esetében a kezdeti 3,19-szeres csemetetermelés/csemetefelhasználás arány az 1956. évre eléri az 5,54-et. Hasonlóan érdekes tendenciát mutat a nemes nyár csemetetermelés/csemetefelhasználás aránya is, mely az 1964. évre eléri az 5,52 értéket⁶. A papírfelhasználás egyre nagyobb gazdasági terhet jelentett, ezért a mezőgazdaság fejlődése következtében felszabaduló földterületeket nyárfatelepítéssel kívánták hasznosítani (Sali 1978). A nyárfatelepítésekhez egyrészt szükséges volt megfelelő szaporítóanyagra, másrészt meg kellett teremteni a jogszabályi háttérét⁷. A tölgyek esetében 1956-ig kevesebbet termeltünk, mint amennyit felhasználtunk volna, a cser esetében pedig csak az 1957. évben volt alacsonyabb a csemetetermelést, mint a csemetefelhasználás. Ennek valószínűleg az (is) az oka, hogy a Halász (1960) szakirodalom szerint csak az 1954/55 évtől kezdődően szerepel a statisztikai nyilvántartásban a „kiemelés állomány alól” rovat. Ez például azt jelenti, hogy a tölgy esetén az 1954. évben 56,8 millió db csemetekiemelés történt a hazai csemetekertekben, és ehhez ugyanebben az évben 25,8 millió db csemetét emeltek ki állomány alól. A hazai nyár csemetetermelése átlagban, mintegy kétszerese a felhasználásnak, azaz az időszak végére a csemetetermelés és -felhasználás ollója zárult. (A bükk fajfajra csak 1970. évtől áll rendelkezésre adat.)



6. ábra: Csemetekertek bruttó területe, átlagterülete és a csemetetermelés/felhasználás arányának változása (Halász 1960, 1966, 1994 alapján, saját szerkesztés)

Figure 6: Gross and average area of forest nurseries, and change in seedling production/use ratio (based on Halász 1960, 1966, 1994, own editing)

Végezetül vizsgáljuk meg az erdészeti szaporítóanyag-termesztés alapvető adatait egymással összefüggően, azaz a csemetetermesztés területeit (bruttó, átlag), valamint a csemetetermelés és -felhasználást az adott

⁶A 9/1962. évi utasítás jelentős mértékű nemesnyár telepítéseket írt elő az állami erdőgazdaságok részére.

⁷Ezt szolgálta az 1/1966 (I. 30.) FM-PM együttes rendelet a nyárfatelepítés céljára alkalmas területek kijelöléséről, valamint a mezőgazdasági cellulóz-nyárfatermesztésről és a 33/1968 (IX.17.) MÉM-PM együttes rendelet a mezőgazdasági cellulóz-nyárfatermesztésről.



időszakban. Az 1954 és 1979 közötti időszakra a csemetekerti bruttó terület kismértékű, fokozatos csökkenése jellemző (kivéve az 1964. év). A vizsgált periódus átlag bruttó csemetekerti területe 3396 hektár. Az átlag csemetekerti terület nagyság viszont az 1954–1959-es 2,55–2,26 hektárról az időszak végére (1979) elérte a 5,45 hektárt, azaz az időszakra jellemző átlagterületet (3,5) 1,95 hektárral meghaladta. Az akác csemetetermelés és -felhasználás arányának nagyarányú csökkenése mellett ezen periódusra a tölgy csemetetermelés és -felhasználás arányának közeli állandósága jellemző. A csemetekertek területére vonatkozó megállapításunk, hogy a hazai erdészeti csemetekertek átlagos nagysága a vizsgált időszak végére jelentős mértékben növekedett. A fajajmegoszlás tekintetében pedig kijelenthető, hogy miközben az akác és a nemesnyár csemetetermelés és -felhasználás aránya csökkent, addig a tölgy aránya gyenge mértékű növekedés után stabilizálódik, azaz az akác és a nemesnyár 1955–1965 időszaki kiemelkedő aránya után egyéb fajok, fajták is előtérbe kerültek (6. ábra), ahogy az a 2015-ben megjelent *Változások az erdei szaporítóanyag-gazdálkodásban 1982–2014 között* ((*Quo vadis erdészeti szaporítóanyag-termesztés?*) (Bach et al 2015) olvasható.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az áttekintett mintegy 35 éves időszak központi tervutasításos rendszere teljes mértékben meghatározta a hazai erdőgazdálkodást⁸, és azon belül is a csemetetermelés és -felhasználást, a természetű fajok körét, valamint a csemetetermesztés technológiáját. A II. világháború követően az ún. vándor csemetekertek számának csökkenésével, illetve az erdőgazdálkodás tervszerű átalakításával az állandó csemetekertek száma, valamint az átlagos csemetekerti nagyság is jelentős mértékben megemelkedett. Mindez köszönhető a nagyarányú erdőtelepítések és (ország) fásítások beindulásának.

A vizsgált fajok csemetetermelése mindezek ellenére nem tekinthető egyenletesnek, sőt egyes fajok/fajcsoportok (hazai nyár, nemesnyár, tölgy) tekintetében kimondottan egyenetlennek. Bár a csemetetermelés volumenét alapvetően a kereslet határozza meg, azonban az általunk vizsgált tervgazdálkodásos időszakban az évente megtermelt és felhasznált csemeték mennyiségének különbsége átlagosan 66,89 millió darab volt; a termelési többlet az 1975-ös évben érte el a legalacsonyabb értéket (21,1 millió darab). Sali (1978) szerint az 1960–1969 közötti időszakban hazánkban átlagosan 191 millió fenyőcsemetét termeltek, mely 61%-a erdei-, 26%-a fekete-, 10%-a luc- és 3%-a egyéb fenyő volt. A megelőző időszakhoz képest az 1975. évi terv mintegy 15 millióval több fenyőcsemetét irányozott elő. A Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Minisztérium 1975-ban ún. racionális földhasznosítási tervet készített, amely alapjául szolgált az új fenyőtelepítések részarányának meghatározásához; ezek szerint „az ezredforduló után (2040) a fenyők területe megközelíti a 450 ezer hektárt, részarányuk pedig a 27%-ot”.

Elemeztük továbbá az egyes fajok csemetetermelés/csemetefelhasználás arányát is: megállapítható, hogy az akác esetében a kezdeti 3,19-szeres arány az 1956. évre eléri a kiugróan magas 5,54-es értéket. A tölgyek esetében 1956-ig kevesebbet termeltünk, mint amennyit felhasználtunk volna, azonban a rákövetkező időszakban többé-kevésbé egyenletes a csemetetermelés és -felhasználás aránya, a cser esetében pedig csak az 1957. évben volt alacsonyabb a csemetetermelést, mint a csemetefelhasználást. A hazai nyár csemetetermelése átlagban mintegy kétszerese a felhasználásnak, azaz az időszak végére a csemetetermelés és -felhasználás ollója zárult. Az akác csemetetermelés és -felhasználás arányának nagyarányú csökkenése mellett ezen periódusra a tölgy csemetetermelés és -felhasználás arányának közeli állandósága jellemző. A hazai erdészeti csemetekertek átlagos nagysága a vizsgált időszak végére jelentős mértékben növekedett,

⁸Hazánkban Bedő Albert kezdeményezésére, az 1879. évi XXXI. törvénycikk megalkotásával sikerült megteremteni az üzemterv szerinti erdőgazdálkodás alapjait. Az 1935. évi IV. törvénycikk előkészítésének egyik legvitatottabb része a tervszerű erdőgazdálkodásra vonatkozó kötelezettségek kiterjesztése az ország minden erdejére (Halász 1982).

miközben az akác és a nemesnyárok csemetetermelés és -felhasználás aránya csökkent, ami többek között azt is jelenti, hogy egyéb fajok, fajták is előtérbe kerültek.

Az 1954–1979 időszakra jellemző, hogy a csemetekerti bruttó terület kismértékű, fokozatos csökkenése (kivéve az 1964. év). A vizsgált periódus átlag bruttó csemetekerti területe 3396 hektár; az átlag csemetekerti területnagyság viszont az 1954–1959-es 2,55–2,26 hektárról az időszak végére (1979) elérte a 5,45 hektárt, azaz az időszakra jellemző átlagterületet (3,5 hektár) 1,95 hektárral meghaladta.

Reméljük, hogy tanulmányunk hozzájárul a II. világháború után hazai erdőgazdálkodás, és azon belül is az erdészeti szaporítóanyag-termesztés történetének, ok-okozati viszonyainak feltárásához, jobb megértéséhez. A központilag tervezett, irányított és végrehajtott, a tervutasításos rendszer⁹ mindenkori szabályait folyamatosan betartó erdészeti szaporítóanyag-termesztés az 1970-es évek elejére már racionalizálásra szorult; az előre megtervezett fajajmegoszlás jelentős mértékben megváltozott. A mai kor erdészeti szaporítóanyag-termesztését a fentiekből levonható következtetéseken túl, a mindennapokban már érezhető klímaváltozás is igen jelentős mértékben befolyásolja. A fajajmegválasztás, az erdősítés, és az ahhoz szükséges erdészeti szaporítóanyag-termesztés során ezen utóbbi tényezőt messzemenőig figyelmébe kell venni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Babos I. 1954: Magyarország táji erdőművelésének alapjai. Mezőgazdasági kiadó, Budapest.
- Bach I., Frank N., Pintér B. & Bordács S. 2015: Változások az erdészeti szaporítóanyag-gazdálkodásban 1982–2014 között. (Quo vadis erdészeti szaporítóanyag-termesztés?) Erdészettudományi Közlemények 5(1):55–69. DOI: 10.17164/EK.2015.004
- Bondor A. 1972: Erdészeti szaporítóanyag előállítás. Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium, Budapest.
- Bondor A. & Gál J. 1976: Erdészeti szaporítóanyag-termelés. Mezőgazdasági kiadó, Budapest.
- Danszky I. 1973: Erdőművelés I–II. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest.
- Halász A. (ed) 1960: Erdőgazdaságunk, faiparunk és faellátásunk helyzete és fejlődése 1920–1958-ig. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest. 54–60.
- Halász A. (ed) 1966: Faellátásunk helyzete és fejlődése. Budapest. 102–110.
- Halász A. 1982: Tervgazdálkodás. – In Keresztesi B. (ed): Magyar erdészet 1954–1979. Akadémiai Kiadó, Budapest, 65–91.
- Halász A. 1994: A magyar erdészet 70 éve. Budapest. 77–78.
- Keresztesi B. 1956: Erdőgazdaságunk fejlesztéséről. Az erdő 5(5): 161–173.
- Keresztesi B. & Solymos R. 1978: A fenyők termesztése és a fenyőgazdálkodás. Akadémiai Kiadó, Budapest.

⁹Az ún. új gazdasági mechanizmus a szocialista Magyarország gazdasági irányításának és tervezésének átfogó reformját jelentette, melyet az 1960-as évek közepén készítettek elő, és 1968. január 1. napján került bevezetésre. A reform keretében három nagy célterület került kijelölésre i.) központi tervezés szerepének csökkentése és a vállalati gazdálkodás önállóságának növelése ii.) a hatóságilag rögzített árak mellett egyes termékek ára a piaci kereslet-kínálat törvénye szerint alakulhattak iii.) a központilag meghatározott bérrendszer helyét, bizonyos korlátok között, a vállalatok által meghatározott szabályozás váltotta fel. Az intézkedések hatásai a mezőgazdaságban voltak a legsikeresebbek, ahol a termelőszoövetkezetek önállósodásával és a háztáji gazdálkodás engedélyezésével jelentős életszínvonal-emelkedés következett be (Varga 2018).



- Mátyás V. 1958: Erdészeti maggazdálkodási utasítás Országos Erdészeti Főigazgatóság, Budapest
- Sali E. 1978: Nyártermesztési célkitűzések és eredmények. – In Keresztesi B. (ed): A nyárák és a fűzek termesztése. Mezőgazdasági kiadó, Budapest, 11–23.
- Sz. N. 1959: Erdősítési és fásítási Utasítás. Országos Erdészeti Főigazgatóság, Budapest.
- Sz. N. 1958: Erdészeti maggazdálkodási utasítás. Országos Erdészeti Főigazgatóság, Budapest.
- Toma Á. 1953: Erdőgazdaság és természetátalakító fásítás Magyarországon. Művelt Nép Könyvkiadó, Budapest.
- Varga Zs. 2018: Az Új Gazdasági Mechanizmus elfeledett sikertörténete: a termelőszövetkezeti szektor. Betekintő (2):1–11.
- 1040/1954. (V.27.) MT határozat az erdőgazdasági termelés fejlesztéséhez szükséges intézkedésekről
- 48.000/1949 II.: Az Erdőművelési utasítás Erdőgazdasági Nemzeti Vállalatok, Üzemvezetősége és védkerületvezetők számára.
- 1/1966 (I.30.) FM-PM együttes rendelet a nyárfatelepítés céljára alkalmas területek kijelöléséről, valamint a mezőgazdasági cellulóz-nyárfatermesztésről
- 33/1968 (IX.17.) MÉM-PM együttes rendelet a mezőgazdasági cellulóz-nyárfatermesztésről.
1951. évi II. törvény az ötéves tervről szóló 1949. évi XXV. törvény módosításáról
1949. évi XXV. törvény a Magyar Népköztársaság első Ötéves Népgazdasági Tervéről
1947. évi XVII. törvény cikk a hároméves gazdasági tervről.

*Érkezett: 2020. április 30.
Közlésre elfogadva: 2020. augusztus 24.*

TARTALOMJEGYZÉK

10. ÉVFOLYAM 2. SZÁM

<i>Sass Vivien, Ódor Péter és Bidló András:</i>	
Különböző erdészeti beavatkozások hatása egy gyertyános-tölgyes avartakarójára	69–82
<i>Ripka Géza:</i>	
Erdei fa- és cserjefajok gubacsatkái	83–95
<i>Koltay András, Fűrjes-Mikó Ágnes, Tenorio-Baigorria Imola, Eötvös Csaba Béla és Horváth László:</i>	
Erdő egészségi állapot vizsgálatok a Kaszó-Life projekt keretében	97–108
<i>Bali László, Tuba Katalin és Szinetár Csaba:</i>	
A Roth-féle száraló erdő arachnológiai vizsgálata	109–124
<i>Palkó Ákos, Ónodi Gábor, Rédei Tamás és Winkler Dániel:</i>	
Talajfaunisztikai- és ökológiai vizsgálatok alföldi reliktum homoki tölgyesekben és a helyükön létesített idegenhonos faállományokban	125–139
Az Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 16. évfolyamában (1–2. szám) megjelent tanulmányok címei és kivonatai	141–144

CONTENTS

VOL. 10 Nr. 2

<i>Vivien Sass, Péter Ódor and András Bidló:</i>	
The effects of different forestry treatments on litter conditions in an oak-hornbeam forest	69–82
<i>Géza Ripka:</i>	
Eriophoid mites (Acari: Eriophyoidea) of woody forest plants	83–95
<i>András Koltay, Ágnes Fűrjes-Mikó, Imola Tenorio-Baigorria, Csaba Béla Eötvös and László Horváth:</i>	
Health condition investigation of forests in the Kaszó-Life project	97–108
<i>László Bali, Katalin Tuba and Csaba Szinetár:</i>	
Arachnological survey of the Roth selection forest	109–124
<i>Ákos Palkó, Gábor Ónodi, Tamás Rédei and Dániel Winkler:</i>	
Soil eco-faunistic study in lowland relict steppe oak forests and in replacement non-native tree plantations	125–139
Titles and abstracts of papers published in the 16th volume (Nr. 1–2.) of the Acta Silvatica & Lignaria Hungarica	141–144



Erdeifenyő természetes felújítás

Erdeifenyő természetes felújítás a sárvári Farkaserdőben (Bejcgertyános 62/E). Az erdeifenyő állomány letermelése után a felújulás természetes maghullásból jött létre, amihez minerális talajfelszín kialakítását alkalmazták.

Fotó és szöveg: Kovács Gyula (NAIK ERTI, Sopron)

KÜLÖNBÖZŐ ERDÉSZETI BEAVATKOZÁSOK HATÁSA EGY GYERTYÁNOS-TÖLGYES AVARTAKARÓJÁRA

Sass Vivien¹, Ódor Péter² és Bidló András¹

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Földtudományi Intézet

²Ökológiai Kutatóközpont, Ökológiai és Botanikai Intézet

Kivonat

A Pilis Üzem mód Kísérlet keretében különböző kezelések (tarvágás, bontóvágás, hagyásfacsoport, lékvágás) avar mennyiségére és kémhatására gyakorolt hatását vizsgáltuk. A jelen publikációban ismertetett négyéves időszak alatt a kontrollállományok avarviszonyai nem változtak, ugyanakkor a kezelések az általunk vizsgált mindhárom avarváltozót (tömeg, nedvesség, kémhatás) jelentős mértékben befolyásolták. Az avertömeg a hagyásfacsoportban volt a legmagasabb, azonban ez a terület bizonyult a legszárazabbnak is. A legkevesebb avarmennyiséget a tarvágásokban mértük. A kezelések legerősebb hatással az avar kémhatására voltak: a tarvágásban és kismértékben a lékekben is megemelkedett a pH, amit a megváltozott aljnövényzet eredményezett. Eredményeink alapján megállapítható, hogy a kismértékű bontás nem okoz változást az avarviszonyokban, a hagyásfacsoportok hatékonyan ellensúlyozzák a vágásterületek megváltozott avarviszonyait, illetve a lékek sokkal kisebb mértékben változtatják meg az avarviszonyokat, mint a vágásterületek. Ezek alapján megállapítható, hogy a finom léptékű beavatkozásokon alapuló örökzöld üzem mód kedvezőbb avarviszonyokat biztosít, mint a vágásos erdőgazdálkodás.

Kulcsszavak: Pilis Üzem mód Kísérlet, erdőkezelés, avar, lék, tarvágás

THE EFFECTS OF DIFFERENT FORESTRY TREATMENTS ON LITTER CONDITIONS IN AN OAK-HORNBEAM FOREST

Abstract

The long-term effects of different forestry treatments (clear-cutting, preparation cutting, retention tree groups, gap-cutting) on litter conditions were studied in the framework of the „Pilis Forestry Systems Experiment”. During the four-year period described in this publication, the average litter features of the closed control forest area remained unchanged, however, the treatments significantly influenced all the studied litter-variable (quantity, moisture, pH). Litter quantity was the highest in retention tree groups, although this area was the driest. The lowest quantity of litter was measured in clear-cutting. The treatments had the highest effect on the acidity/alkalinity: pH increased in case of clear-cuttings and a less extent gap-cuttings, caused by the increased herbaceous understory cover. We can conclude that moderate partial cutting (preparation cutting) did not change the litter conditions, retention tree groups can buffer the extreme effect of clear-cuttings, and gaps only slightly modify the litter conditions compared to the clearcuts. These results show that continuous cover forestry maintain more favorable litter conditions than rotation forestry systems.

Keywords: Pilis Üzem mód Kísérlet, forest management, litter, gap

Levelező szerző/Correspondence:

Sass Vivien, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4., email: sass.vivien@uni-sopron.hu



BEVEZETÉS

Az erdőállományokban bekövetkező változások kihatnak a vele kölcsönhatásban álló más környezeti rendszerekre is. Kutatások igazolták, hogy tarvágott területen az első évtizedekben csökken az avar mennyisége, megnő a talaj hőmérséklete és nedvességtartalma (Covington 1981), átmenetileg jelentősen megnövekedik a felvehető tápanyagok mennyisége (Prescott 2002, Muscolo et al 2007), a nitrogén-ciklusban pedig szélsőséges változás áll be (Ritter 2005). Avarmanipulációs kísérletekben (Huang & Spohn 2015) avar hiányában a talaj A-szintjében megemelkedett az összes-, a szerves és a felvehető szerves szerves foszfor mennyisége, ami valószínűleg a hajszálygökérzet szintén megemelkedett biomasszájának köszönhető. A B-szintben viszont csökkent az összes foszfor és az összes nitrogén.

Bár hazai erdeinkben régóta zajlanak avarvizsgálatok, ezek többnyire különböző fafajú, illetve eltérő termőhelyű állományokat vetettek össze (Járó 1958, Kondorné 2007), valamint az avarintercepció kutatására irányultak (Führer 1994, Gácsi 2000, Zagyvainé Kiss 2012), vagy avarmanipulációs kísérletek (Kotroczó et al 2017) voltak.

Az 2015-ben indult Pilis Üzem mód Kísérlet a vágásos üzem mód (tarvágás, bontóvágás, hagyásfacsoport a vágásterületen) és az örök erdő üzem mód (lékkialakítás) esetében előforduló beavatkozások hatását vizsgálja a termőhelyre, a felújulásra és a biodiverzitásra (Ódor et al 2020, <https://www.piliskiserlet.okologia.mta.hu/>). Mikroklímára és talajnedvességre vonatkozó kutatásaik megállapították, hogy a tarvágás szélsőséges léghőmérséklet és páratartalom viszonyokkal rendelkezik, a hagyásfacsoport a vágásterület napi hőingását kompenzálja, az átlagértékeket, viszont alig. Ezzel szemben a lékben és a bontásban a zárt erdei mikroklíma hőmérséklet és páratartalom viszonyok alig változnak (Kovács et al 2020). Felújulás szempontjából a lék hasonlóan kedvező viszonyokat teremt, mint a vágásterület (Tinya et al 2020), de saját vizsgálataink is igazolták, hogy az árnyéktűrő fafajok visszaszorítása szükséges a tölgy érdekében, és a tölgy beavatkozások utáni kolonizációja korlátozott (von Lüpke 1998, Van Couwenberghe et al 2013).

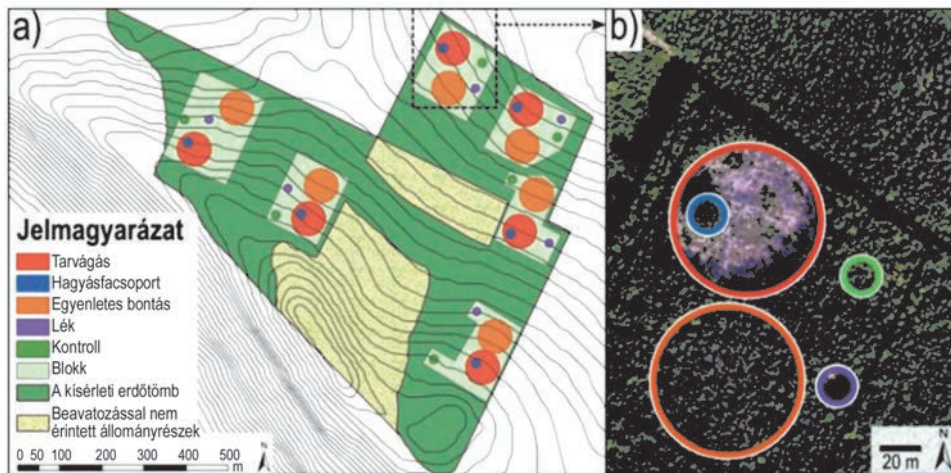
Jelen publikációban a kezelések avarváltozókra (avartömeg, avarnedvesség, avar kémhatás) gyakorolt hatását vizsgáljuk a kezelések utáni rövid távú (4 éves) időszakban.

A KÍSÉRLET BEMUTATÁSA

A kutatási területünk a Pilisi Parkerdő Zrt. gazdálkodása alatt álló, Hosszú-hegyi közel 40 ha-os, gyertyános-tölgyes erdőrészekben (Pilisszántó 21A, 24C, 25B) található.

Az Erdőállomány Adattár szerint a gyertyános-tölgyes klímába tartozó, többletvízhatástól független hidrológiájú, Ramann-féle barna erdőtalajú, közép mély termőrétegű és vályog fizikai féleségű területet változatos lejtés jellemzi (Kovács et al 2018). Az erdészeti tájban az éves csapadék sokéves átlaga 614 mm, az évi középhőmérséklet 9,3 °C (Führer et al 2019). Az átlagos erdészeti szárazsági index (FAI) a község határban 5,8, ami szintén gyertyános-tölgyes klímára utal. A helyszíni vizsgálataink azt mutatták, hogy a részben homokkőre, részben dolomitra rakódott löszön, illetve egyéb üledéken kialakult állományban a domborzatnak és kitértségnek megfelelően a mélyben változatos talajviszonyok vannak, ugyanakkor a felszín közeli néhány deciméteres rétegben nagy különbségek nem jelentek meg (Kovács et al 2018, 1. melléklet).

A vizsgált három erdő részletben kb. 80 százalékos eleggyaránnal a kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) 75 éves állománya alkotja a felső szintet, amelyhez gyertyán (*Carpinus betulus*) (12–16%), illetve egy-egy erdő részletben bükk (*Fagus sylvatica*) (8%) és csertölgy (*Quercus cerris*) (4%) társul. A második lomb szintnek domináns fafaja a gyertyán.



1. ábra: A blokkok és a kezelések kísérleti elhelyezése a Pilis Üzem mód Kísérlet területén
 Figure 1: Spatial design of blocks and treatments in the area of Pilis Forestry Systems Experiment

A kísérlet keretében négyféle kezelést hasonlítottunk össze (egyenletes bontás, lékvágás, mikrotarvágás, hagyásfacsoport), kontrollként a zárt, bontatlan állományt szolgált. A lékvágás és a hagyásfacsoport területe 300 m^2 (20 m átmérőjű kör), a bontás és a mikrotarvágás területe 0,5 ha (80 m átmérőjű kör) volt. A bontás esetében a felső lombkoronaszint egyharmadát, valamint a második lombkoronaszintet távolítottuk el. A kísérlet teljes blokk elrendezésben valósult meg, az öt kezelési szintet (négy kezelés és a kontroll) hat blokk területén valósítottuk meg (1. ábra). Az öt kezelési és a hat ismétlés (blokk) összesen 30 mintaterületet eredményezett.

Az erdészeti beavatkozásokat 2015 év elején, a vegetációs időszakon kívül végezték el. Az ezt megelőző évben a vizsgált változók állapotát rögzítettük még a beavatkozások előtt, vagyis a kísérlet lehetővé teszi a beavatkozás előtti és utáni állapotok összehasonlítását is (BACI: Before/After – Control/Impact elrendezés, Green 1979).

ANYAG ÉS MÓDSZER

Vizsgálatainkhoz évente kétszer gyűjtöttünk be avarmintákat: a késő tavaszi–kora nyári (T) és az őszi (O) időszakban. Mintaterületenként négy mintavételi pontból – a fő égtájak irányában, a terület középpontjától 8–10 m-re gyűjtöttük be az avar egy $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ -es (9 dm^2 -es) területről.

A mintavételt követően laboratóriumi vizsgálatok során meghatároztuk az egyes avarminták tömegét, nedvességtartalmát, valamint a vizes kémhatását. Utóbbit a Magyar Szabvány (MSZ-08-0206/2:1978) szerinti módszer avarra módosított metodikája alapján, avar és desztillált víz 1:5 arányában mértük le. Az adott mintaterületekről vett négy minta értékeit átlagoltuk, vagyis minden mintaterülethez egy értéket rendeltünk a vizsgált változók esetében minden időszakban. Az ismételt mintavétel elemzése során az évek (2014–2018) és az évszakok (tavasz, ősz) kombinációjából származó 10 időszakot különítettünk el.

A beavatkozásuktól mentes kontroll (zárt erdő) esetében vizsgáltuk az időszakok hatását a három változó (avartömeg, avarnedvesség, avar kémhatás) eredeti értékeire. Ezt lineáris kevert modellek alkalmazásával elemeztük (Zuur et al 2009). Ennek során az időszakokat teszteltük fix faktorként, a blokkokat random faktornak tekintettük. A modellek normális hibatag eloszlást feltételeztünk, a modellek utáni hibatagok normális eloszlását kvantilis-kvantilis ábrával, a hibatagok variancia homogenitásának feltételét szórás-becsült

érték ábrákkal ellenőriztük vizuálisan (Reiczigel et al 2007). A fix faktor hatását F teszttel ellenőriztük, variancia magyarázatát „likelihood” becslésen alapuló determinisztikus koefficienssel (R^2) fejeztük ki (Barton 2019). Szignifikáns fix faktor esetében a fix faktor szintjei közötti eltérések feltárásához Tukey-féle többszörös összehasonlítást alkalmaztunk $p=0,05$ elsőfajú hibaszint feltételezése mellett, a szintek marginális átlagai alapján (Lenth 2016).

A kezelések hatását nem a változók eredeti értékein, hanem a kontrollhoz viszonyított relatív értékeken teszteltük. Ennek során minden időszakban és minden blokkban kivontuk a négy kezelés esetében mért értékből az adott blokk kontroll területén mért értékeket (vagyis a kontroll az adott változó 0 értékének feleltethető meg). Az így kapott különbségek a kezelések egymáshoz viszonyított eltéréseit tükrözik, nem jelennek meg bennük sem az egyes időszakok, sem a blokkok abszolút különbségei. Az avartömeg, avarmedvesség és az avarkérmhatás esetében a kezelések és az időszakok hatását (mint fix faktorokat) teszteltük lineáris kevert modellekkel a fentiekhez hasonló módon, a blokkokat random faktorként kezelve. Mivel itt két fix magyarázó változónk volt, azok interakcióját is figyelembe vettük a modellekben. A többszörös összehasonlításokat csak a kezelések szintjei között végeztük el, az egyes időszakok szintjein belül.

Az elemzések R 3.6.3 statisztikai környezetben történtek (R Core Team 2020), a lineáris kevert modellekhez az „nlme” (Pinheiro et al 2020), az R^2 értékekhez a „MuMIn” (Barton 2019), a többszörös összehasonlításokhoz az „lsmeans” (Lenth 2016) programcsomagot használtuk.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Avartömeg

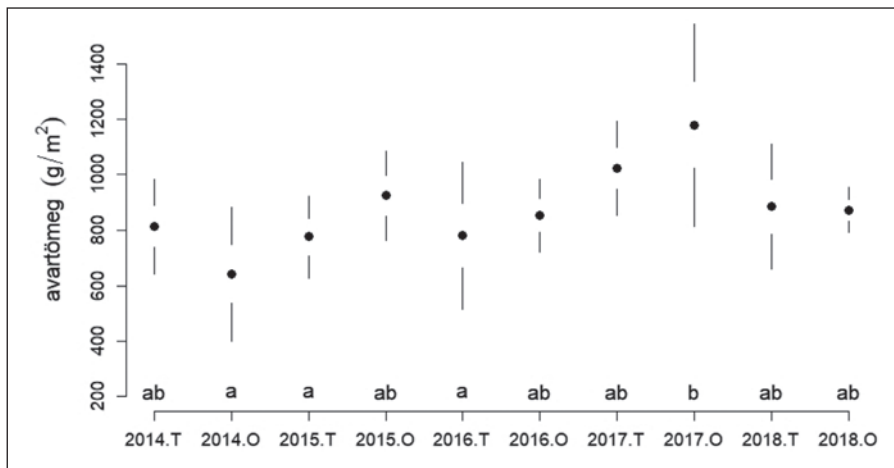
1. táblázat: A mintavételi időszakokban gyűjtött avarminták átlagos tömege. Az oszlopok fejlécében a kezelések kódjai (T – tarvágás, L – lékvágás, B – bontás, H – hagyásfacsoport, K – kontroll), a soroknál az időszakok kódjai találhatóak. Az időszakokat évek (2014–2018) és az évszakok (T – tavasz, O – ősz) kombinációi jelentik

Table 1: The mean value of the litter mass in treatments during the study periods. The codes of the treatments (T – clear-cut, L – gap-cut, B – pretention cut, H – retention tree group, K – control) are in the column headers and the headers of rows show the codes of periods. Periods are combinations of years (2014-2018) and seasons (T – spring, O – autumn)

		Átlagos avartömeg (g/m ²)				
		T	L	B	H	K
Mintavételi időszak	2014.T	804,51	844,51	858,19	902,09	813,76
	2014.O	560,52	595,22	505,78	566,24	641,67
	2015.T	867,18	929,39	982,13	897,50	775,50
	2015.O	718,71	670,63	735,16	1126,08	923,88
	2016.T	216,74	525,55	512,72	582,65	780,31
	2016.O	156,00	427,83	879,75	641,50	853,49
	2017.T	176,75	511,94	802,51	962,35	1023,78
	2017.O	346,20	777,66	951,70	777,28	1198,43
	2018.T	246,96	451,77	672,18	769,07	885,25
	2018.O	97,39	395,16	474,32	673,19	871,48

A kontroll mintaterületeken az avar tömege a különböző időszakokban 640–1200 g/m² között változott (1. táblázat). A kapott értékek az egyes időszakok között eltértek (kevert modell; $R^2 = 0,31$; $F_{(9;45)} = 3,14$;

$p = 0,0051$), de ebben sem a tavasz-ősz, sem az évek nem mutattak trend jellegű eltérést (2. ábra). Az egyes évek közötti eltérést sokkal inkább az adott év időjárási viszonyai és a mintavétel időpontja befolyásolhatták. A vizsgálati időszak alatt jelentősebb károsodás nem jelent meg az erdőállományban, így ez nem lehetett hatással az avartömegre.



2. ábra: Az avartömeg értékei a kontroll mintaterületeken a vizsgált időszakokban. A pont az átlagot, az üres szakasz az átlag szórását (S.E.), a pálcika a szórását (S.D.) jelenti. Az időszakokat évek (2014-2018) és az évszakok (T – tavasz, O – Ősz) kombinációi jelentik. Az x tengely feletti betűk a többszörös összehasonlítás során a $p = 0,05$ szignifikancia szint alapján eltérő ill. azonos csoportokat kódolják
 Figure 2: Values of the litter mass in the control plots during the study period. The dot means the mean, the empty section means the standard error (S.E.), and the vertical line means the standard deviation (S.D.). The letters below the x-axis encode the different and the same groups based on the multiple comparisons. Significance level $p = 0.05$

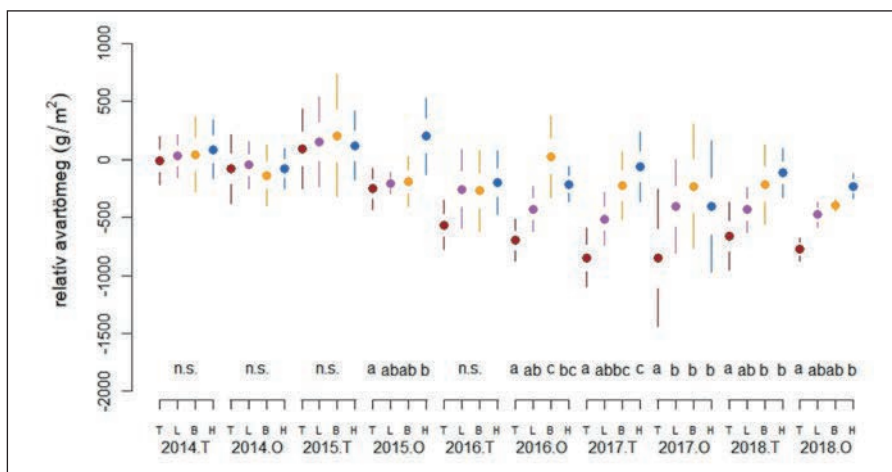
A relatív (kontrollhoz viszonyított) avartömeg esetében a kezelés és az időszakok hatása nagyjából azonos volt (2. táblázat).

A beavatkozások előtt (2014) az avarviszonyok nem különböztek a kezelésekre kijelölt mintaterületek között (3. ábra). A kezelés utáni első év (2015) őszén már megfigyelhető volt, hogy a relatív avartömeg a hagyásfacsoportban a legnagyobb, és ez a tendencia többé-kevésbé a teljes vizsgálati időszakban megmaradt. Ez alapvetően 0 körüli érték (hasonló, mint a kontrollban), míg a többi kezelésre negatív, vagyis a kontrollnál kevesebb avartömeg volt a jellemző. A 2016-os évtől kezdve megfigyelhető az avar alacsonyabb mennyisége a tarvágásban, ami innentől az összes vizsgálati időszakban alacsonyabb, mint a hagyásfacsoportban, az eltérés az idővel nőtt. A lék és a bontás értékei a tarvágás és a hagyásfacsoport közötti köztes értékeket vettek fel, egymástól alapvetően a legtöbb időszakban nem különböztek. Ennek ellenére a lék átlaga alacsonyabb, gyakrabban mutatott átfedést a tarvágással, a bontásé magasabb, gyakrabban alkotott közös csoportot a hagyásfacsoporttal.

2. táblázat: A vizsgált változók esetében a lineáris kevert modellek fix faktorainak determinisztikus koefficiense (R^2), szabadsági foka (dF), F-értéke (F) és szignifikancia szintje (p). A hibatarag szabadsági foka minden modell esetében 194

Table 2: The table shows the coefficient of determination (R^2), the degree of freedom (df), the F value (F), and the significance level (p) of the fix factors within the linear models. For all models, the degree of freedom of the residual error is 194

	dF	F	p
Relatív avartömeg; $R^2 = 0,467$			
Kezelés	3	20,95	<0,0001
Időszak	9	14,62	<0,0001
Interakció	27	1,66	0,0273
Relatív avarnedvesség; $R^2 = 0,476$			
Kezelés	3	23,14	<0,0001
Időszak	9	7,85	<0,0001
Interakció	27	3,50	<0,0001
Relatív avarkémhatás (pH); $R^2 = 0,642$			
Kezelés	3	70,49	<0,0001
Időszak	9	8,34	<0,0001
Interakció	27	6,17	<0,0001



3. ábra: A kontrollhoz viszonyított (relatív) avartömeg értéke a különböző kezelésekből és időszakokban. A pont az átlagot, az üres szakasz az átlag szórását (S.E.), a pálcika a szórást (S.D.) jelenti. Színkódok: bordó – tarvágás, lila – lékvágás, sárga – bontás, kék – hagyásfacsoport. Az x tengely alatti első sorban a kezelése kódjai (T – tarvágás, L – lékvágás, B – bontás, H – hagyásfacsoport), a második sorban az időszakok kódjai találhatók. Az időszakokat évek (2014–2018) és az évszakok (T – tavasz, O – ősz) kombinációi jelentik. Az x tengely feletti betűk a többszörös összehasonlítás alapján a $p = 0,05$ szignifikancia szinten eltérő ill. azonos csoportokat kódolják a kezelésekek között, egy adott időszakon belül

Figure 3: Value of the (relative) litter mass compared to the control in the different treatments and periods. The dot means the mean, the empty section means the standard error (S.E.), and the vertical line means the standard deviation (S.D.). Color codes: burgundy – clear-cut, purple – gap-cut, yellow – preparation cut, blue – retention tree group. The codes of the treatments (T – clear-cut, L – gap-cut, B – preparation cut, H – retention tree group) are in the first row under the x-axis, and the second row show the codes of periods. Periods are combinations of years (2014–2018) and seasons (T – spring, O – autumn). The letters above the x-axis encode the different and the same groups in the multiple comparison in a same period. Significance level $p = 0.05$

Avanedvesség

3. táblázat: A mintavételi időszakokban gyűjtött avarminták átlagos nedvességtartalma kezelésenként. Az oszlopok fejlécében a kezelések kódjai (T – tarvágás, L – lékvágás, B – bontás, H – hagyásfacsoport, K – kontroll), a soroknál az időszakok kódjai találhatóak.

Az időszakokat évek (2014–2018) és az évszakok (T – tavasz, O – őszi) kombinációi jelentik

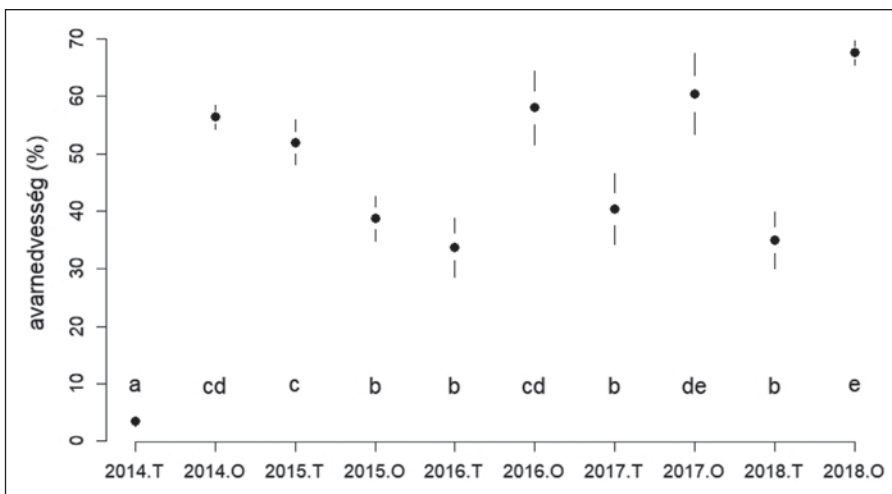
3. table: Mean value of the litter moisture in treatments during the study periods. The codes of the treatments (T – clear-cut, L – gap-cut, B – pretention cut, H – retention tree group, K – control) are in the column headers and the headers of rows show the codes of periods.

Periods are combinations of years (2014–2018) and seasons (T – spring, O – autumn)

	Átlagos nedvességtartalom (%)				
	T	L	B	H	K
2014.T	4,50	4,09	4,49	4,67	3,45
2014.O	57,30	55,59	57,26	57,78	56,39
2015.T	53,74	53,78	54,25	52,69	51,99
2015.O	56,16	60,98	48,08	36,56	38,70
2016.T	30,27	37,80	33,76	21,01	33,72
2016.O	58,10	59,29	55,31	52,39	58,01
2017.T	45,14	59,91	48,31	27,18	40,30
2017.O	69,76	61,55	61,23	59,05	60,82
2018.T	43,28	38,37	40,87	25,14	34,95
2018.O	77,04	71,39	68,67	67,63	67,59

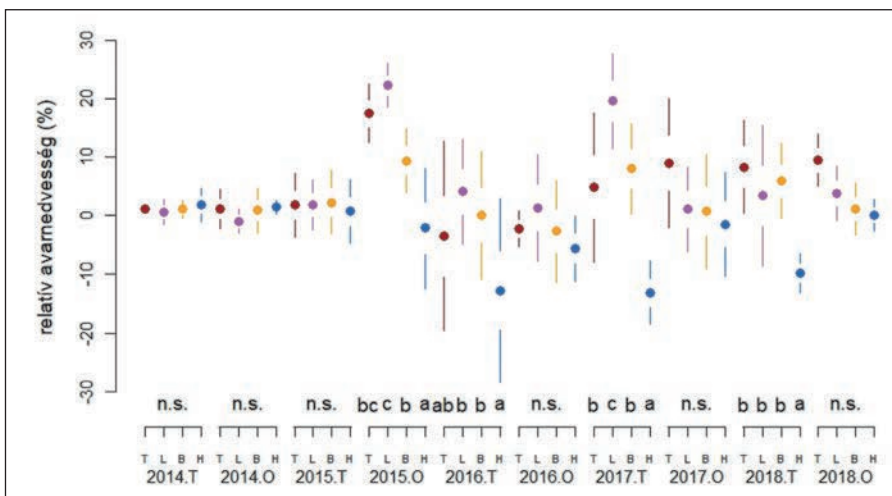
A mintaterületen az avanedvességet elsősorban a mintavétel előtt időjárás (csapadék és hőmérséklet viszonyok) határozza meg. A területen csak az utóbbi 3 évben állnak rendelkezésre csapadék adatok, így ezeket nem tudtuk bevonni a vizsgálatba, jelen vizsgálatnak nem volt célja az időjárás hatásának elemzése az avartakaró mennyiségére, elsősorban azt vizsgáltuk milyen eltérés tapasztalható a kontroll területhez képest. A kontroll területen az időszakok között jelentős eltérés mutatkozott (kevert modell, $R^2=0,93$; $F_{(9,45)} = 137,96$; $p<0,001$; 4. ábra). 2014 tavaszán a kontrollban az avanedvesség igen alacsony volt (3,5%), négy időszakban 30–40% közötti, négy időszakban 50–60% közötti, míg egy időszakban 67%-os értéket vett fel (3. táblázat). 2016–2018 között az őszi időszakok magasabb avanedvességet mutattak, mint a tavaszi időszakok, 2015-ben ezt nem lehetett megfigyelni.

Az időjárás hatása miatt, az avanedvességi viszonyokat elsősorban a kontrollal összehasonlítva érdemes értékelni. A relatív avanedvesség esetében a kezelések hatása erősebbnek bizonyult, mint az időszakoké (2. táblázat). A relatív avanedvesség a beavatkozás előtt, illetve a kezelés utáni tavaszon nem tért el a kezelések között, a kontrollhoz hasonló (0 körüli) értéket vett fel (5. ábra). A 2015-ös év őszi időszakában a lékvágásban volt a legmagasabb, a hagyásfacsoportban a legalacsonyabb, a bontás köztes értékeket vett fel. A 2016–2018 közötti időszakban őszi nem tapasztaltunk az avanedvességben eltérést a kezelések között, tavasszal viszont igen. Ezt magyarázhatja az is, hogy az őszi időszakokban általánosan magasabb volt a talaj nedvességtartalma (4. ábra), ezért a kezelések közötti eltérések kisebbek voltak, mint a tavaszi, szárazabb időszakokban. Minden ilyen esetben, amikor szignifikáns eltérést tapasztaltunk a kezelések között, a hagyásfacsoportban szignifikánsan alacsonyabb volt az avanedvesség, mint a többi kezelésben. A másik három kezelés 2016 és 2018 tavaszán nem különbözött el. A lékvágás két időszakban is (2015 őszi, 2017 tavasz) szignifikánsan magasabb talajnedvesség értéket mutatott, mint a többi kezelés.



4. ábra: Az avarmedvesség értékei a kontroll mintaterületeken a vizsgált időszakokban. A pont az átlagot, az üres szakasz az átlag szórását (S.E.), a pálcika a szórást (S.D.) jelenti. Az időszakokat évek (2014–2018) és az évszakok (T – tavasz, O – ősz) kombinációi jelentik. Az x tengely feletti betűk a többszörös összehasonlítás alapján a $p = 0,05$ szignifikancia szint alapján eltérő ill. azonos csoportokat kódolják

Figure 4: Values of the litter moisture in the control plots in the period studied. The dot means the mean, the empty section means the standard error (S.E.), and the vertical line means the standard deviation (S.D.). The letters below the x-axis are the combinations of years (2014–2018) and seasons (T – spring, O – autumn). The letters above the x-axis encode the different and the same groups based on the multiple comparisons. Significance level $p = 0.05$



5. ábra: A kontrollhoz viszonyított (relatív) avarmedvesség értéke a különböző kezeléseken és időszakokban. A pont az átlagot, az üres szakasz az átlag szórását (S.E.), a pálcika a szórást (S.D.) jelenti. Színkódok: bordó – tarvágás, lila – lékvágás, sárga – bontás, kék – hagyásfacsoport. Az x tengely alatti első sorban a kezelések kódjai (T – tarvágás, L – lékvágás, B – bontás, H – hagyásfacsoport), a második sorban az időszakok kódjai találhatóak. Az időszakokat évek (2014–2018) és az évszakok (T – tavasz, O – ősz) kombinációi jelentik. Az x tengely feletti betűk a többszörös összehasonlítás alapján a $p = 0,05$ szignifikancia szint alapján eltérő ill. azonos csoportokat kódolják a kezelésekek között, egy adott időszakon belül

Figure 5: Value of the (relative) litter moisture compared to the control in the different treatments and periods. The dot means the mean, the empty section means the standard error (S.E.), and the vertical line means the standard deviation (S.D.). Color codes: burgundy – clear-cut, purple – gap-cut, yellow – preparation cut, blue – retention tree group. The codes of the treatments (T – clear-cut, L – gap-cut, B – preparation cut, H – retention tree group) are in the first row under the x-axes, and the second row show the codes of periods. Periods are combinations of years (2014–2018) and seasons (T – spring, O – autumn). The letters above the x-axis encode the different and the same groups in the multiple comparison in a same period. Significance level $p = 0.05$

Avarkémhatás ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$)

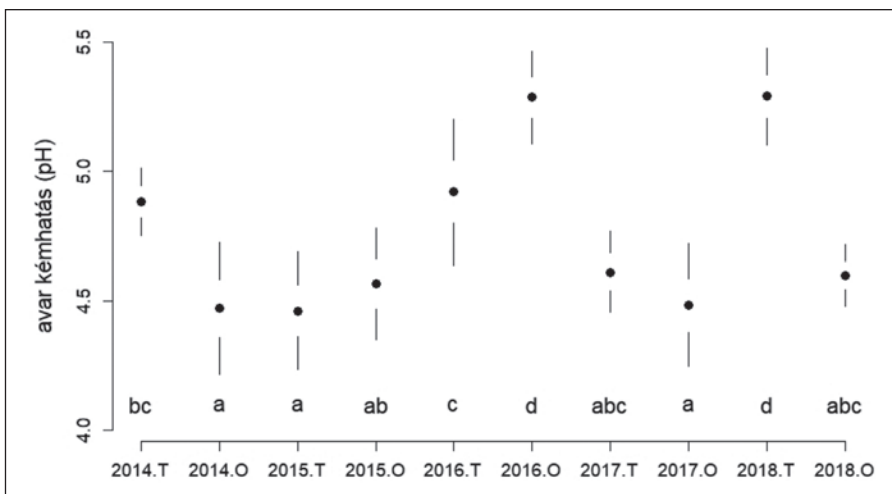
Az avar vizes kémhatása a kontrol mintaterületeken pH 4,5 és 5,3 között változott (4. táblázat), az egyes időszakok szignifikánsan eltértek (kevert modell, $R^2 = 0,69$, $F_{(9,45)} = 19,03$, $p < 0,0001$). A kémhatás 2016 őszi és 2018 tavaszi mutatott a többi időszakhoz képest magasabb pH értékeket (6. ábra).

4. táblázat: A mintavételi időszakokban gyűjtött avarminták átlagos kémhatása kezelésenként. Az oszlopok fejlécében a kezelések kódjai (T – tarvágás, L – lékvágás, B – bontás, H – hagyásfacsoport, K – kontrol), a soroknál az időszakok kódjai találhatóak. Az időszakokat évek (2014–2018) és az évszakok (T – tavasz, O – őszi) kombinációi jelentik

Table 4: Mean pH value of the litter in treatments during the study periods. The codes of the treatments (T – clear-cut, L – gap-cut, B – pretention cut, H – retention tree group, K – control) are in the column headers and the headers of rows show the codes of periods. Periods are combinations of years (2014–2018) and seasons (T – spring, O – autumn)

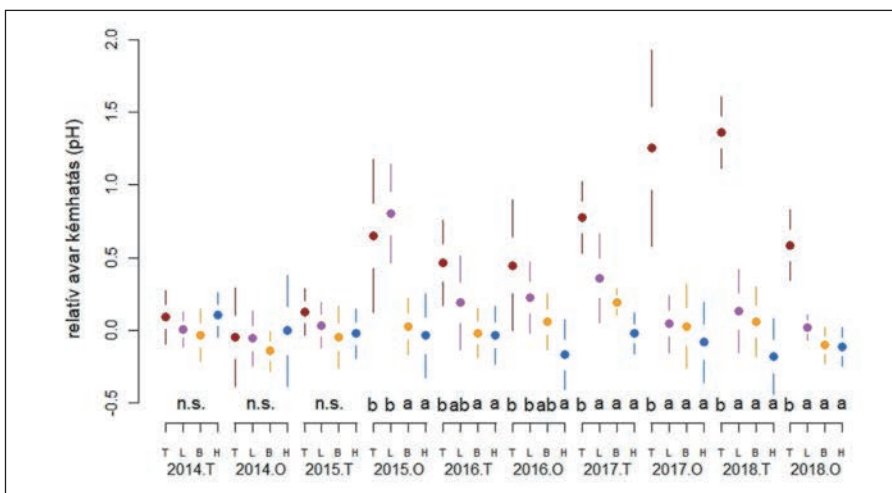
	Átlagos $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$				
	T	L	B	H	K
2014.T	4,97	4,88	4,85	4,98	4,88
2014.O	4,42	4,41	4,33	4,47	4,47
2015.T	4,58	4,49	4,41	4,44	4,46
2015.O	5,37	5,21	4,59	4,53	4,56
2016.T	5,38	5,11	4,90	4,88	4,92
2016.O	5,71	5,51	5,34	5,12	5,28
2017.T	5,39	4,97	4,80	4,59	4,61
2017.O	5,73	4,52	4,51	4,40	4,48
2018.T	6,65	5,42	5,35	5,11	5,29
2018.O	5,20	4,62	4,49	4,48	4,60

Az avar kémhatás relatív értékének esetében összességében a kezelések hatása meghaladta az időszakok hatását (2. táblázat). A beavatkozás előtt, illetve a beavatkozás utáni tavaszon a kezelések nem különböztek egymástól, ezután minden időszakban szignifikáns eltérés jelentkezett a kezelések között (7. ábra). Alapvetően a tarvágásokban szignifikánsan magasabb pH értékeket mértünk, mint a többi kezelésben, ez a beavatkozás utáni 3. és 4. évtől (2017–2018) egységesen jelentkezett. A hagyásfacsoport mutatta a legalacsonyabb pH értéket. A bontás esetében a pH a hagyásfacsoportnál többnyire magasabb volt, de attól nem tért el statisztikailag. A lék értékei a tarvágás és a bontás között helyezkedtek el, a 2015–2016 időszakban inkább a tarvágással, 2017–2018-ban a bontással és a hagyásfacsoporttal alkottak közös statisztikai csoportot.



6. ábra: Az avar-kémhatás (pH) értékei a kontroll mintaterületeken a vizsgált időszakokban. A pont az átlagot, az üres szakasz az átlag szórását (S.E.), a pálcika a szórást (S.D.) jelenti. Az időszakokat évek (2014–2018) és az évszakok (T – tavasz, O – ősz) kombinációi jelentik.

Az x tengely feletti betűk a többszörös összehasonlítás alapján a $p = 0,05$ szignifikancia szint alapján eltérő ill. azonos csoportokat kódolják
 Figure 6: The pH values of the leaf litter in the control plots in the period studied. The dot means the mean, the empty section means the standard error (S.E.), and the vertical line means the standard deviation (S.D.). The letters above the x-axis encode the different and the same groups based on the multiple comparisons. Significance level $p = 0.05$



7. ábra: A kontrollhoz viszonyított (relatív) avar-kémhatás (pH) értéke a különböző kezelésekből és időszakokban. A pont az átlagot, az üres szakasz az átlag szórását (S.E.), a pálcika a szórást (S.D.) jelenti. Színkódok: bordó – tarvágás, lila – lékvágás, sárga – bontás, kék – hagyásfacsoport. Az x tengely alatti első sorban a kezelése kódjai (T – tarvágás, L – lékvágás, B – bontás, H – hagyásfacsoport), a második sorban az időszakok kódjai találhatóak. Az időszakokat évek (2014–2018) és az évszakok (T – tavasz, O – ősz) kombinációi jelentik. Az x tengely feletti betűk a többszörös összehasonlítás alapján a $p = 0,05$ szignifikancia szint alapján eltérő ill. azonos csoportokat kódolják a kezelésekek között, egy adott időszakon belül

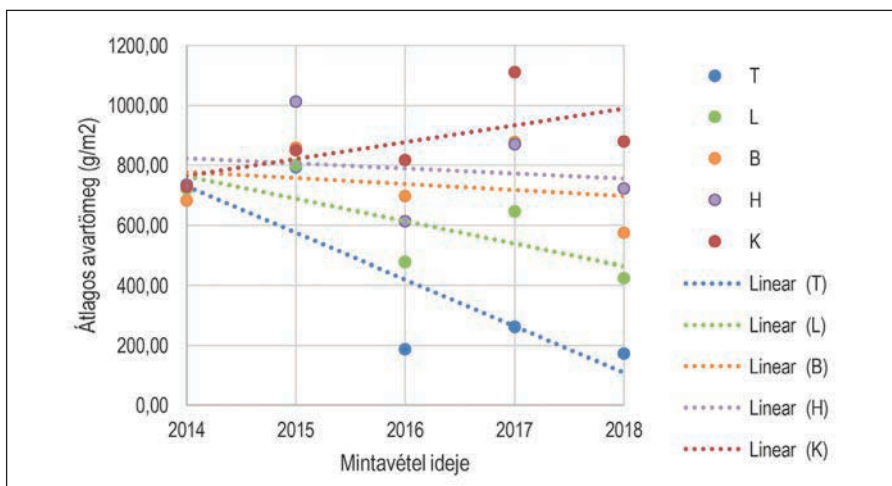
Figure 7: Value of the (relative) litter pH compared to the control in the different treatments and periods. The dot means the mean, the empty section means the standard error (S.E.), and the vertical line means the standard deviation (S.D.). Color codes: burgundy – clear-cut, purple – gap-cut, yellow – preparation cut, blue – retention tree group. The codes of the treatments (T – clear-cut, L – gap-cut, B – preparation cut, H – retention tree group) are in the first row under the x-axes, and the second row show the codes of periods. Periods are combinations of years (2014–2018) and seasons (T – spring, O – autumn). The letters above the x-axis encode the different and the same groups in the multiple comparison in a same period. Significance level $p = 0.05$

KÖVETKEZTETÉSEK

A kontroll mintaterületeken a vizsgálati időszak alatt egyetlen trendszerű jelenséget lehetett megfigyelni, hogy az avarnedvesség ősszel magasabb volt, mint tavasszal, de ezt pusztán az okozta, hogy az őszi mintavételek csapadékosabb időszakokra estek. Az avartömegben trend jellegű változásokat nem lehetett megfigyelni. Az avar kémhatása 2016 őszén és 2018 tavaszán neutrálisabb volt a többi időszaknál, azonban ez nehezen értelmezhető, sem az avarprodukción, sem az avarnedvesség értékekkel ez nincs összefüggésben. Összességében elmondható, hogy a kontroll állományok avarviszonyai, várakozásainknak megfelelően, nem változtak.

Ezzel szemben a kezelések mindhárom avarváltozót jelentős mértékben befolyásolták, a legerősebb kezeléshatást az avar kémhatás mutatta.

A begyűjtött minták alapján, a 2015-ös beavatkozás óta eltelt időszakban avar mennyiség tekintetében a kezelések között egyre nőtt a különbség (8. ábra). Az avartömeg a hagyásfacsoport, bontás, lék és tarvágás sorrendben csökken a kezelések között, ami teljesen összefügg a keletkező lombavar mennyiségével.



8. ábra: Az éves avar mennyiség átlagértéke a különböző kezelésekben. A színek az egyes kezeléseket jelölik (T – tarvágás, L – lékvágás, B – bontás, H – hagyásfacsoport, K – kontroll)

Figure 8: The mean value of the annual litter mass in the different treatments. The colors encode the treatments (T – clear-cut, L – gap-cut, B – pretention cut, H – retention tree group, K – control).

A hagyásfacsoport e tekintetben hasonló faállománnyal rendelkezik, mint a kontroll. Ugyanakkor a hagyásfacsoportban számolnunk kell az avar lebomlás gátlásával is, mert ezen a területen az avar, illetve a talaj felső szintje előbb kiszárad, mint a többi területen. Ennek oka kettős – egyrészt a megmaradó faállomány gyökere jelentős mennyiségű nedvességet vesz fel a talajból, másrészt az állomány talaja jobban ki van téve az oldalról érkező napsugárzás hatásának. Bontás esetében a fák kb. harmada hiányzik, a lékben csak a lékek széléről származik lombavar produkció, míg a tarvágásban a lombavar mennyisége minimális. A tarvágásban és a lékben az avar jóval nagyobb hányadát teszi ki a lágyszárú vegetációból származó avar, azonban ez a faállomány lombavarjának csökkenését nem tudja kompenzálni.

Avarnedvesség tekintetében a lékben tapasztaltuk a legmagasabb értékeket (bár ez nem mindig különült el a tarvágástól és a bontástól), viszont egyértelműen alacsonyabb volt a hagyásfacsoportban. Ezt a jelenséget mindig csak a tavaszi, vizlimittált időszakban mutattuk ki, az őszi, nedvesebb időszakokban nem jelentkezett. Ezek az eredmények nagyon hasonló trendet mutattak, mint a talajnedvesség (Kovács et al 2020). Mivel



lombkorona nélkül csökken az avarmennyiség is, így a talajba bejutó csapadékmennyiség megnő (Zagyvainé Kiss et al 2015). A lékben és a tarvágásban a faállomány hiánya tehát egyrészt lecsökkenti az intercepciót, másrészt a másik jelentős hatás, hogy a fák transzpirációjának talajnedvesség csökkentő hatása nem jelentkezik. Ez a nedvességnövelő hatás erősebben érvényesül a lékben, mint a tarvágásban, hiszen azt kiegyenlítőtebb mikroklíma (kisebb hőingás, magasabb légnedvesség) jellemzi az állomány pufferoló hatása miatt, így a párolgás itt kevésbé intenzív. A hagyásfacsoportban egyrészt érvényesül a faállomány nedvességcsökkentő hatása (intercepció, transzpiráció), másrészt mivel egy szélsőséges mikroklímájú vágásterület veszi körül, az evaporáció is jelentős. Természetesen a faállománynak ezek a hatásai elsősorban a száraz időszakokban érvényesülnek.

Az avarkémhatás neutrálisabb jellege elsősorban a tarvágásban jelenik meg, amely az itt nagy tömegben megjelenő lágyszárú növényzettel magyarázható, ezek uralkodó fajjai a beavatkozás utáni 3. és 4. évben a siskanádttippan (*Calamagrostis epigeios*), a magas aranyvessző (*Solidago gigantea*) és a szeder (*Rubus fruticosus* agg.) (Tinya et al 2019). Ez a lágyszárú növényzet a lebomlása során sokkal neutrálisabb avarviszonyokat eredményez, mint a többi kezelésben meghatározó tölgylevelű avar. Ez a neutrális avarkémhatás a lékben kevésbé jelentkezik, aminek az egyik magyarázata, hogy itt kevésbé történt meg a vágásterület elburjánzása az aljnövényzetben. Bár itt is megnőtt a növényzeti borítás, ennek mértéke kisebb volt, valamint elsősorban erdei fény-flexibilis növények alkották (Tinya et al 2019). A másik hatás, hogy itt a lékszéli fák jelentős tölgylevelű avar termelést biztosítanak, ami a pH-t csökkenti. Azonban ennek ellenére a lékben is valamivel neutrálisabb viszonyok vannak, mint a bontásban illetve a hagyásfacsoportban.

Eredményeink alapján az erdőgazdálkodási gyakorlat számára is hasznosítható megállapítások tehetők. A faállomány kb. egyharmadát eltávolító bontás a kontrollhoz képest alig változtatta meg az avarviszonyokat, vagyis a záródás és a körlepősszeg kismértékű csökkentése (a vágásos üzemmód idős korosztályához képest) nem okoz eltérő avarviszonyokat.

A beavatkozások közül a tarvágás mind az avarmennyiség, mind a kémhatás tekintetében drasztikus változásokat okoz: az avertömeg lecsökken, a vágásterület növényzet hatására neutrálisabbá válik. Ezek a hatások a lékben kevésbé érvényesülnek a fák közelsége, és az aljnövényzet kisebb mértékű változása miatt. A lékek a tölgyesek időszakosan vízlimitált termőhelyi viszonyai között növelik az avar és a talaj nedvességtartalmát. Vagyis az örökzöld üzemmódra jellemző kisterületű felújítások sokkal kevésbé változtatják meg az avarviszonyokat, mint a vágásos üzemmód vágásterületei.

A vágásos üzemmód hatásainak (Keenan & Kimmins 1993) ellensúlyozása céljából, a vágásterületeken visszahagyott hagyásfacsoportok az avarviszonyok tekintetében részben ellátják kiegyenlítő (pufferoló) funkciójukat. Az avarmennyiség a kontrollhoz hasonló, kémhatás viszonyai szintén megegyeznek. Viszont avarnedvesség tekintetében a hagyásfacsoportok szárazabb, kedvezőtlenebb viszonyokat biztosítanak a vágásterület negatív hatása miatt.

Összességében elmondható, hogy az avarviszonyok tekintetében a vizsgált területen az örökzöld üzemmód kis területű lékjei, illetve alacsonyabb záródású állományai kedvezőbbek, mint a vágásos üzemmód nagy területű felújításai. A hagyásfacsoportok visszahagyásának nagy jelentősége van az avarviszonyok fenntartása szempontjából a vágásos üzemmód keretén belül, ugyanakkor ezen részeken a talaj gyorsabb kiszáradása miatt, a felújulás gátolt lehet. Vizsgálataink csak a beavatkozás utáni első évekre terjedtek ki, a kezeléseket avartakaróra gyakorolt hosszabb távú hatásának vizsgálatához további mérések szükségesek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Ökológiai Kutatóközpont, a Soproni Egyetem és a Pilis Parkerdő Zrt. kooperációjában valósult meg.

Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg. A kutatást az NKFIA (OTKA) K128441 számú projektje és a «Társadalmi jóllét ökológiai alapjai» program (MTA KEP) támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bartók K. 2019: MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.43.15. <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>.
- Covington W.W. 1981: Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in Northern Hardwoods. *Ecology* 62(1):41–48.
- Führer E. 1994: Csapadékmérések bükkös, kocsánytalan tölgyes és lucfenyves ökoszisztémában. *Erdészeti Kutatások* 84: 11–35.
- Führer E., Heil B., Heilig D., Jagodics A. & Kovács G. 2019: Termőhelyi viszonyok. In: Führer E. (ed): Magyarország erdészeti tájai. III. Dunántúli-középhegység erdészeti tájcsoport, Nemzeti Földügyi Központ, Budapest, 126–137.
- Gácsi Zs. 2000: A talajvízszint észlelés, mint hagyományos, és a vízforgalmi modellezés, mint új módszer alföldi erdeink vízháztartásának vizsgálatában. Doktori (Ph.D) értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron.
- Green, R.H. 1979: Sampling design and statistical methods for environmental biologist. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Huang, W. & Spohn, M. 2015: Effects of long-term litter manipulation on soil carbon, nitrogen and phosphorus in temperate deciduous forest. *Soil Biology & Biochemistry* 83:12–18.
- Járó Z. 1958: Alommennyiségek a magyar erdők egyes típusaiban. *Erdészettudományi Közlemények* 1958. 151–162.
- Keenan R.J. & Kimmins J.P. 1993: The ecological effects of clear-cutting. *Environmental Reviews* 1: 121–144.
- Kondorné Sz. M. 2007: Fajaj-összehasonlító kísérletek értékelése. Doktori (Ph.D) értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron.
- Kotroczó Zs., Biró B., Kocsis T., Veres Zs., Tóth A. & Fekete I. 2017: Hosszú távú szerves anyag manipuláció hatása a talaj biológiai aktivitására. *Talajvédelem* 73–83.
- Kovács B., Tinya F., Guba E., Németh, C., Sass V., Bidló A. & Ódor P. 2018: The short-term effects of experimental forestry treatments on site conditions in an oak-hornbeam forest. *Forests* 9: 406.
- Kovács B., Tinya F., Németh Cs. & Ódor P. 2020: Unfolding the effects of different forestry treatments on microclimate in oak forests: results of a 4-year experiment. *Ecological Applications* 30(2): e202043.
- Lenth R.W. 2016: Least-Squares Means: The R Package lsmeans. *Journal of Statistical Software* 69(1): 1–33.
- Muscolo A., Sidari M. & Mercurio R. 2007: Influence of gap size on organic matter decomposition, microbial biomass and nutrient cycle in Calabrian pine (*Pinus laricio*, Poiret) stands. *Forest Ecology and Management* 242: 412–418.
- MSZ-08-0206/2:1978: A talaj egyes kémiai tulajdonságainak vizsgálata. Laboratóriumi vizsgálatok. (pH-érték, szódában kifejezett fenoltalein lúgosság, vízben oldható összes só, hidrolitos (y_1 -érték) és kicserélődési aciditás (y_2 -érték))
- Ódor P., Tinya F., Kovács B., Aszalós R., Bidló A., Boros G. et al. 2020: Különböző erdészeti beavatkozások termőhelyre, biodiverzitásra, és felújulásra gyakorolt hatása gyertyános tölgyesekben. Beszámoló egy 5 éve indult erdőökológiai kísérlet eredményeiről. *Erdészeti Lapok* 155(1):8–12.
- Pinheiro J., Bates D., DebRoy S., Sarkar D. & R Core Team 2020: nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1–144, <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>>.
- Prescott C.E. 2002: The influence of the forest canopy on nutrient cycling. *Tree Physiology* 22: 1193–1200.
- R Core Team 2020: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reiczigel J., Harnos A. & Solymosi N. 2007: Biostatisztika nem statisztikusoknak. Pars Kft., Nagykovácsi.
- Ritter E. 2005: Litter decomposition and nitrogen mineralization in newly formed gaps in a Danish beech (*Fagus sylvatica*) forest. *Soil Biology & Biochemistry* 37:1237–1247.



- Snyder K.E., & Harter R.D. 1987: Forest floor dynamics in even-aged northern hardwood stands. *Soil Science Society of America Journal* 51:1381–1383.
- Tinya F., Kovács B., Aszalós R., Tóth B., Csépanyi P., Németh Cs. & Ódor P. 2020: Initial regeneration success of tree species after different forestry treatments in a sessile oak-hornbeam forest. *Forest Ecology and Management* 459: 117810.
- Tinya F., Kovács B., Prättälä A., Farkas P., Aszalós R. & Ódor P. 2019: Initial understory response to experimental silvicultural treatments in a temperate oak-dominated forest. *European Journal of Forest Research* 138: 65–77.
- Van Couwenberghe R., Gegout J.C., Lacombe E., Collet C. 2013: Light and competition gradients fail to explain the coexistence of shade-tolerant *Fagus sylvatica* and shade-intermediate *Quercus petraea* seedlings. *Annals of Botany* 112: 1421–1430.
- von Lüpke B. 1988: Silvicultural methods of oak regeneration with special respect to shade tolerant mixed species. *Forest Ecology and Management* 106 (1): 19–26.
- Zagyvainé Kiss K. A. 2012: Az avarintercepció vizsgálata a Soproni-hegységben. Doktori (Ph.D) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron.
- Zagyvainé Kiss K. A., Vastag V., Gribovszki Z. & Kalicz P. 2015: Soil moisture in sessile oak forest gaps. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 17).
- Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J., Saveliev A.A. & Smith G. 2009: *Mixed effects models and extension in ecology with R*. Springer, New York.

Érkezett: 2020. július 02.

Közlésre elfogadva: 2020. október 29.

ERDEI FA- ÉS CSERJEFAJOK GUBACSATKÁI (ACARI: ERIOPHYOIDEA)

Ripka Géza

NÉBIH Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság

Kivonat

A gubacsatkák a legkisebb méretű növényeken élősködő ízeltlábúak. Képviselőik megtalálhatók lágyszárú és fásszárú növények hajtásán, levelén, virágán és termésén. Tápnövényeik nagyobb része a fásszárúak közül kerül ki. A hazai erdők fa- és cserjefajain előforduló 238 gubacsatka fajból 45 idegenhonos. A legtöbb gubacsatka faj a Rosaceae és a Salicaceae családok fajain található.

Kulcsszavak: gubacsatkák, Acari, fajok, cserjefajok, sokféleség, Magyarország

ERIOPHYOID MITES (ACARI: ERIOPHYOIDEA) OF WOODY FOREST PLANTS

Abstract

Eriophyoid mites are the smallest arthropods living on vascular plants. Representatives of this superfamily can be found on the shoots, foliage, flowers and fruits of herbaceous and woody plants. The majority of the host plants are woody species. An overview is given on the eriophyoid mite fauna of woody forest plants. In Hungary, out of the 238 eriophyoid species 45 are non-indigenous. The most species is recorded from the families Rosaceae and Salicaceae.

Keywords: eriophyoid mites, Acari, tree species, shrub species, biodiversity, Hungary

RÖVIDEN AZ ERIOPHYOIDEA (GUBACSATKASZERŰEK) ÖREGCSALÁDRÓL

A hazai erdeinkben élő, 34 növénycsaládba tartozó 96 őshonos és 46 idegenhonos fa- és cserjefaj (61/2017. (XII. 21.) FM rendelet) szép számú ízeltlábú faj táplálékforrását biztosítja. A legkisebb fitofág ízeltlábúak közé tartozó gubacsatkák (Acari: Acariformes: Eriophyoidea) legtöbbször szabad szemmel nem látható. Átlagos testhosszúságuk 200 μm , 80 μm -tól közel 500 μm -ig terjedő mérettartománnyal. Ezért tanulmányozásukhoz elengedhetetlen kellék a mikroszkóp. Morfológiailag és biológiailag rendkívül specializálódott és egyben leegyszerűsödött csoportja az atkáknak (Nuzzaci & de Lillo 1996). Obligát fitofág, más szóval herbivor fajok, melyek páfrányok, nyitvatermők, egy- és kétszikű növények földfeletti részén a trópusoktól a sarkvidékig előfordulnak (Oldfield 1996). Parányi testük rendszerint megnyúlt féregszerű, orsó vagy henger alakú, görbült vagy lapított. Valamennyi fejlődési alakjuk (lárva, protonimfa, kifejlett egyed) csak két pár lábbal rendelkezik,

Levelező szerző/Correspondence:

Ripka Géza, 1118 Budapest, Budaörsi út 141-145., email: RipkaG@nebih.gov.hu



amelyek a test elülső részén található. Szájszervük szűrő-szívó, amelyben a csáprágó (chelicera) túszerű szűrősertévé módosult. A gubacsatkák ezekkel a hegyes kitin tűkkel sebzik meg a növényt, s a szájszervük többi részével a növény nedvét szívják fel. A rövidebb chelicerával rendelkező fajok a még nem differenciálódott, osztódó sejtekből álló merisztémát és a bőrszövet sejtjeit, a hosszabb chelicerával rendelkező Diptilomiopidae gubacsatkák viszont a parenchyma sejteket sértik meg a szúrásokkal. Néhány faj növényi vírusokat is terjeszt (Lindquist & Amrine 1996).

A tudomány több mint 4400 leírt fajukról tud (Xue et al 2017), amelyeket a jelenleg használt osztályozás szerint a következő három családba sorolnak: Phytoptidae, Eriophyidae és Diptilomiopidae. A magyar faunából eddig 381 faj előfordulását jelezték (Ripka 2017).

Az Eriophyoidea öregcsaládot többségében viszonylag szűk tápnövény körű fajok alkotják, amelyek rendszerint élő növényeken élnek. Ismeretesek monofág, specialista fajok is, de ezzel szemben előfordulnak olyan képviselőik is, melyek pl. 9 növényrend 11 családján megtalálhatók (Lindquist & Oldfield 1996). A fajok nagy része egyáltalán nem okoz vagy csak elhanyagolható elváltozást vált ki a tápnövényen. Ezzel szemben a kisebbik részük a növényeken viszonylag könnyen észlehető, jellegzetes tüneteket okoz. Ilyenek pl. a különböző alakú, méretű, felépítésű, színű gubacsok a növény levelén (színén, fonákán, nyelén, szélén, erezetén), szárán, rügyén, virágzatán, termésén. Más képviselőik egyfajta rendellenes, tömött szőrzetből álló, változatos színű nemezes bevonatot, idegen szóval erineumot képeznek a leveleken. A levélráncosodás, gyűrődés, levélszél sodródás, törpe (rövid) szártagúság, ún. 'boszorkányseprű'-képződés valamint rendellenes elszíneződés (pl. ezüstösödés), parásodás számtalan formában előfordulnak. A fásszárú erdei növényekről eddig közölt 238 négy lábú atkafaj között 45 idegenhonos található. A három atkacsalád gyakoribb genuszai a következők, Phytoptidae család: *Phytoptus*; Eriophyidae család: *Acalitus*, *Aceria*, *Aculops*, *Aculus*, *Anthocoptes*, *Cecidophyes*, *Epitrimerus*, *Eriophyes*, *Phyllocoptes*, *Shevtchenkella*, *Stenacis*, *Tegonotus*; Diptilomiopidae család: *Diptacus*, *Rhinophytoptus*, *Rhyncaphytoptus*.

Jelen tanulmány áttekintést kíván nyújtani a fásszárú fajokon élőhelyet találó négy lábú atkákról. Viszont nem törekszik arra, hogy valamennyi fásszárú fajt külön említsen, és arra sem vállalkozik, hogy az egyes tápnövényekhez kötődő minden gubacsatka fajt ismertessen.

GYAKORIBB GUBACSATKA FAJOK FA- ÉS CSERJÉFAJONKÉNT, ILLETVE NEMZETSÉGENKÉNT

Szilek (*Ulmus* spp.): Az *Aceria campestricola* (1. kép) a mezei- (*Ulmus minor*), a hegyi- (*Ulmus glabra*) és a vénic szil (*Ulmus laevis*) levelén kicsi, 1 mm átmérőjű, szőrrel borított gubacsokat okoz. Az *Aceria filiformis* tüneteivel szintén az előbbi három szilfaj levelén találkozhatunk kezdetben szabálytalan alakú zöld, majd barna, himlőszerű foltok formájában. A *Shevtchenkella ulmi* a mezei- és a hegyi szil leveleinek fonákján él, és nem okoz látható elváltozást. Az előző fajhoz hasonlóan nem váltanak ki tünetet a *Rhinophytoptus concinnus* *psilophorus*, a *Rhyncaphytoptus ulmivagrans*, a *Rhyncaphytoptus ulmivora* és a *Tetra concava* levelek fonákán előforduló fajok (Farkas 1966).

Tölgyek (*Quercus* spp.): Rendkívül gazdag négy lábú atka együttes található a tölgyeken. Csak a csertölgyről (*Quercus cerris*) 12 faj ismert hazánkból. Ezek közül többet, pl. *Achaetocoptes quercifolii*, *Coptophylla cerriquerci*, *Phyllocoptes cerriphilus*, *Rhyncaphytoptus cerrifoliae* Farkas Henrik írt le a múlt században Magyarországról (Farkas 1966). Az *Achaetocoptes quercifolii* a hazánkban eddig ismert legkisebb gubacsatka faj, a nőténye mindössze 90–130 µm hosszú. A szintén csertölgyről leírt *Bariella bakonyense* faj a levél pelyhes fonáki oldalán, különösen az ereken, szabadon él, és szívogatásával nem okoz látható elváltozást a növényen (Ripka & Csóka 2010). Egyébként a gubacsatkák mellett hasonlóan gazdag ragadozóatka fauna (Acari:

Phytoseiidae) is jelen van a csertölgy lombozatán (Ripka & Szabó 2011). A kocsányos tölgy (*Quercus robur*) kopasz fonákú levelén levélszél sodródást okozó *Cecidophyes sanctiregisladislai*, valamint a termés kupacsán táplálkozó *Aceria magyarica* fajok hazánkból kerültek leírásra (Ripka 2009c). A kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) apró csillagszörös levél fonákán szabadon élő két faj, a *Glyptacus matrensis* és a test kültakaróján viaszt kiválasztó *Brevulacus carpathicus*, nem okoznak feltűnő tüneteket a táplálkozásukkal (Ripka & Csóka 2010; Ripka 2011). Kocsánytalan és csertölgy levélszínén, különösen a fő- és az oldalereken él az *Acaricalus cerriquerci* faj. Egy csertölgéről ismert másik faj, a *Cecidophyes tristernalis* viszont a levelek fonákán, nagyobb részt szintén a főér közelében található. Az *Aceria cerrea* (2. kép) a csertölgy levelek fonáki oldalán erineumot, míg ezek ellentétes oldalán kiemelkedő gubacsokat képez. Szintén ezen a tölgyfajon az *Aceria cerrigemmarum* okoz rügygubacsot. Az atkák szívogatásának hatására a rügyek rendellenesen hajtanak ki, a levélkéik aprók maradnak, később megbarnulnak és elszáradnak (3. kép).

A Fagaceae család növényeiről hazánkból ismert 23 négy lábú atkafaj között csak 1 jövevény van.

Bükk (*Fagus sylvatica*): A tölgyfajokhoz képest a bükkön jóval kevesebb gubacsatkafaj él. Eddig 3 fajt mutattak ki a hazai faunából. Az *Acalitus stenaspis* levélszél sodródást, az *Aceria nervisequa* a levél színén húzódo ereken erineumot okoz (4. kép), a *Cheiracus ornatus* a levélfonákán szabadon vagy más faj gubacsában él (Farkas 1966).

Szelidgesztenye (*Castanea sativa*): Jelenleg egyetlen faj, a *Rhyncaphytoptus castaneae* ismert Magyarország területéről, mely a levelek fonákán él és kártételt nem okoz (Farkas 1966).

Gyertyán (*Carpinus betulus*): Hat faj előfordulásáról van tudomásunk. Ezek közül két faj (*Aceria carpini*, *Phyllocoptes carpini*) jelenléte kérdéses, mert csak egy-egy, az elsőt ráadásul nagyon régi (1890) közlemény említi. Az *Aculops macrotrichus* (5. kép) a levél fonákán az oldalak hullámos torzulását, a levél színén pedig az oldalak mentén ráncosodást okoz. Az *Aceria tenella* a levél fonákán a főér mentén és az érzugokban képez rendellenes szőrözöttséget, a levél ellenkező oldalán ezek a részek kissé kidudorodnak. Az *Aculus betuli* és a *Tegonotus depressus*, amely török mogyorón is előfordul, nagy egyedszám esetén a levelek barnulását okozza.

Nyírek (*Betula* spp.): Nyírekről eddig mindössze egyetlen fajt közöltek hazánkból. Az *Acalitus rudis* rendszerint a levelek fonákán, ritkán a színén okoz kezdetben világos színű erineumot, ami a későbbiekben barnásvörösre színeződik (Farkas 1966).

Égerek (*Alnus* spp.): Az égerfajokról közölt 10 faj többsége, 7, a mézgás égeren (*Alnus glutinosa*) él. A levelek fonákán és színén vajszerű majd okkersárgás erineumot okoz az *Acalitus brevitarus* (6. kép), amelynek erős fertőzése esetén a levélfelületet 75–90%-ig beborítja a nemezes bevonat. Az *Eriophyes laevis* a levél színén 1–2 mm-es, piros színű, gömbölyded gubacsokat okoz (7. kép), míg három szabadon élő *Tegonotus*-faj (*Tegonotus heptacanthus*, *T. keiferi*, *T. trouessarti*) a levelek barnulását okozzák (Farkas 1966). Mézgás égerről a közel múltban került elő az *Epitrimerus longitarsus* (Ripka 2014).

Mogyorófajok (*Corylus* spp.): A közönséges mogyoró (*Corylus avellana*) legveszélyesebb kártevő atkája a szembetűnő rügygubacsot (angol elnevezése 'big bud'), valamint rügyelhalást okozó *Phytoptus avellanae* (8. kép). A kozmopolita *P. avellanae* az idegenhonos török mogyorón (*Corylus colurna*) hasonló tünetet: a normálnál jóval nagyobbra nőtt, és csak csökkent hajtást fejlesztő, vagy hajtást és termést egyáltalán nem hozó rügygubacsot idéz elő. Nyárra az ilyen rügyek teljesen elszáradnak. A rügypusztításban egy másik faj, a *Cecidophyopsis vermiformis* is részt vesz. A kora tavaszi rügyelhalásért a *P. avellanae*, a nyáriért a *C. vermiformis* a felelős. Két másik négy lábú atkafaj, az *Aculus comatus* és a *Tegonotus depressus* nagy egyedsűrűség esetén a levelek barnulását, rozsdásodását okozzák. A *Coptophylla lamimani* és a *Diptacus calicoryli* szintén szabadon élő fajok, melyek nem okoznak észlelhető levél tünetet.

Dió (*Juglans regia*): a közönséges dió levelén az *Aceria tristriata* szemölcszerű gubacsokat (9. kép), míg egy másik hasonló faj, az *Aceria erineae* a levelek fonáki oldalán világos színű erineumot, a levelek színe felé pedig kiemelkedő gubacsokat idéz elő (10. kép).



Füzek (*Salix* spp.): A Salicaceae a második legtöbb gubacsatka fajnak, 29, élőhelyet biztosító növénycsalád. Fehér fűzről (*Salix alba*) 12 négy lábú atkafaj előfordulását közölték. A *S. alba* levelén, rügyén, virágzatán és hajtásán országszerte találkozhatunk a következő fajok által okozott elváltozásokkal. A *Stenacis palomaris*, az *Aculus gemmarum* és az *Anthocoptes salicis* a három leggyakrabban előforduló faj (Ripka & de Lillo 1997). A *Stenacis palomaris*, a *Salix alba*, a *Salix caprea*, a *Salix elaeagnos*, a *Salix matsudana* cv. Tortuosa és a *Salix purpurea* rügy- és virágzatgubacsain és azok belsejében igen gyakran előfordul. Ehhez a fajhoz még két másik faj, az *Aculus gemmarum* és az *Anthocoptes salicis* társul. A fűzfajok virágrügyén, majd termős és porzós virágzatán gubacsot (a korábbi irodalomban gyakran olvasható elnevezése 'boszorkányseprű') okozó *S. palomaris*, *Aculus gemmarum*, *Anthocoptes salicis* (11. kép) és *Stenacis triradiatus* (12. kép) fajok a murvalevélén, a porzón, a termőn és a virágzati tengelyen szívogatnak. Ennek hatására a murvalevél torzul, szalagosodik, a termő és a porzó úgyszintén torzul, gyakran levélszerűvé válik, a bibeszál és a porzószal elkorcisosul, szalagosodik, a bibe és a portok nem fejlődik ki. Mind a murvalevél, mind a termő és a porzó, valamint a virágzati tengely erősen szőrösödik, s vörös színűre változik. Amennyiben ezek a fajok hajtórügyben élnek, akkor ezekből a rügyekből törpe szártagú hajtás fejlődik, gyakran – de nem minden esetben – a fajra jellemző méretnél kisebb levelekkel. A *Salix alba*, *Salix babylonica*, *Salix matsudana* cv. Tortusa, *Salix x erythroflexuosa*, *Salix caprea*, *Salix purpurea*, *Salix viminalis* fajokon a rügy- illetve virágzatgubacsok már március végén, április elején észlelhetők (Ripka 1997). Nyár folyamán ezek az atkafajok a levelek hónaljában differenciálódó új rügyekbe vándorolnak. A táplálkozásuk következtében az ilyen rügyek egy része a nyári hónapokban kihajt és hasonló rövid szártagú, torz hajtás vagy gubacsos virágzat alakul ki. A hazánkban szintén közönséges *Aculus tetanothrix* számos fűzfaj (*Salix alba*, *S. fragilis*, *S. purpurea*, *S. viminalis*) levelén idéz elő levélgubacsokat (13. és 14. kép). Az *Aceria salicis* a fehér- és a kosárkötőfűz (*Salix viminalis*) levelén okoz levélszél-sodródást és apró levélgubacsokat. Az Európában őshonos *Aculus magnirostris* a fehér-, a szomorú- (*Salix babylonica*), a törékeny- (*Salix fragilis*) és a csigolyafűz (*Salix purpurea*), az újlégi jövevény *Aculops rhodensis* a fehér- és a parti fűz (*Salix elaeagnos*) levelén rendszerint más gubacsatka fajokkal vegyes populációban található meg. A parti fűz hajtásán valamint levélfonákán a főően táplálkozó *Acaphyllisa rakoczi* fajt Magyarországról írták le (Ripka 2009b).

Nyárfajok (*Populus* spp.): A legtöbb, hét fajt a rezgő nyárról (*Populus tremula*) azonosították, köztük a leveleken erineumot képező *Phyllocoptes populi*. A rezgő nyár levélszínén, a vállnál, a levélnyel és a lemez illeszkedési helyén apró, sárgás majd pirosas dudort képez az *Eriophyes diversipunctatus* (15. kép). Az *Aceria dispar* szívogatásának hatására a levél széle a színe felé begömbül, besodródik (16. kép). Egyes nyárfajok (*Populus nigra*, *Populus x beroliensis*, *Populus alba*, *Populus simonii*, *Populus tremula*) rügyein, vesszőin, ágain és törzsén gubacsot okozó *Aceria populi* faj (17. és 18. kép) korán elkezd táplálkozni. Friss, pirosuló tárgyevi gubacsai már április első napjaiban megtalálhatók. Az *Aceria populi* után a *Populus nigra*, *Populus nigra* cv. Italica, *Populus alba*, *Populus x canescens*, *Populus x euramericana*, *Populus tremula* levélfonákán szabadon élő *Aculus mogerii* a második leggyakoribb faj. Az Észak-Amerikából bekerült *Aculops knovltoni* jövevény faj, amely hazánkban fehér-, szürke- valamint nagyfogú nyárról (*Populus grandidentata*) került elő.

Hársak (*Tilia* spp.): A nagylevelű (*Tilia platyphyllos*) és a kislevelű hárs (*Tilia cordata*) levelén ujjhoz, vagy szarvhoz hasonló, pirosas kinövéseket okozó *Eriophyes tiliae* a hársakon élő leggyakoribb gubacsatka faj (19. és 20. kép). A levélgubacs parányi nyílása a levél fonákán található, amelyet szörképlet fed. Egy másik faj, az *Eriophyes exilis* erineumot képez a kislevelű és az ezüst hárs (*Tilia tomentosa*) leveleinek a színén, fonákán, erezetén és virágán, amely kezdetben fehér színű, később bézs, majd pirosas, végül vörösbarna lesz (21. és 22. kép). A nemezes foltok többé-kevésbé kerekdedek, erős fertőzés esetén a levél nagy részét (fonákját és színét) beborítják. Ugyanez a faj a nagylevelű hárs levelein az érzugokban gubacsokat képez, amelyek a levél színéből kissé kiemelkednek (Soika & Kozak 2013). Levelekenkénti nagy egyedszám esetén a gyakori *Aculus ballei* a szívogatott levelek barnulását okozza mindhárom hársfajon (Ripka & de Lillo 1997). Három másik kevésbé gyakori faj, a *Phytoptus tetratrichus* (23. kép) a kislevelű és a nagylevelű hárs levélszélének sodródását, a *Phytoptus abnormis* az ezüst hárs, a *Phytoptus stenoporus* a nagylevelű hárs levelének gubacsosodását okozza.

Rózsafélék (Rosaceae): A Rosaceae családba tartozó nagyszámú fa- és cserjefajról eddig 40 gubacsatka fajt mutattak ki hazánkban (Ripka 2007). Messze a legtöbb faj, 11, a kökényen (*Prunus spinosa*) él. Közülük kettő, az *Eriophyes prunispinosae* és a *Phyllocoptes eupadi* apró, szőrrel fedett levélgubacsokban él. A két faj a gubacsok megjelenése alapján nem különíthető el egymástól. A számos más *Prunus*- sőt *Crataegus*-fajon is előforduló *Diptacus gigantorhynchus* nagy egyedsűrűség esetén a levelek barnulását okozza. A *Phyllocoptes abauenus* a levelek fonákán, a fő- és az oldalerek közelében lévő szőrzetben szivogat. A *Rhinotergum schestovici* a *Diptacus gigantorhynchus*hoz hasonlóan a levelek fonáki oldalán él, gubacsot vagy más látható tünetet nem vált ki a növényen. Érdemes megjegyezni, hogy egy vizsgálat alapján, a tíz atkacsaládba tartozó 25 azonosított atkafajjal a kökény lombzatán fordul elő a második legnagyobb diverzitású atkaközösség (Ripka 1997). Galagonya fajokon (*Crataegus* spp.) a *Phyllocoptes goniothorax* a levelek sodródását idézi elő. Az *Aculops crataegumplicans* az egybibés galagonyán fordul elő. Vadkörte fajokon (*Pyrus* spp.) három, a nemes körtén is közönséges gubacsatka faj él: a himlőszerű gubacsokat valamint rügykárosodást okozó *Eriophyes pyri* (24. kép), a levél és a gyümölcs parásodását okozó *Epitimerus pyri* valamint a levélszél sodródását előidéző *Epitimerus marginemtorquens*. Két másik *Eriophyes*-faj, az *Eriophyes burtsi* és az *Eriophyes torminalis* a madárberkenye (*Sorbus aucuparia*) levelén okoz himlőszerű gubacsokat. A madárberkenye levelének színén és fonákán élő *Calepitimerus mathiasrexi* fajt elsőként hazánkban írták le (Ripka 2010c). A tűztövis-gubacsatka (*Aceria pyracanthi*) kárminpiros színű erineumai nagyobb részt a levelek fonáki oldalán jelennek meg (25. kép). Árnyékos helyre ültetett bokrokon tud jelentős mértékben felszaporodni.

Akác (*Robinia pseudoacacia*): Egyedül az *Aculops allotrichus* előfordulásáról tudunk ez idáig, amely a levélkék deformációját (26. és 27. kép), erős fertőzés esetén lombvesztést okoz.

Juharok (*Acer* spp.): 21 fajjal a negyedik legtöbb négy lábú atka a juharokról ismert. Ezek közül 2 idegenhonos faj (*Rhyncaphytoptus negundivagrans*, *Shevtchenkella brevisetosa*) is a zöld juharról (*Acer negundo*) került elő. Kifejezetten gazdag a mezei juhar (*Acer campestre*) és a hegyi juhar (*Acer pseudoplatanus*) gubacsatka faunája. Mezei juharról 14, hegyi juharról 12 faj ismert, míg korai juharról (*Acer platanoides*) eddig 9 fajt közöltek. A vizsgált fásszárú taxonok közül atkafajokban leginkább gazdagnak 32 fajjal a mezei juhar bizonyult. Kilenc atkacsalád egyedei fordultak elő a mezei juharon (Ripka 1997). Az *A. campestre* és az *A. pseudoplatanus* levelén élő négy lábú atkák közül a nagy egyedsűrűség esetén levélbarnulást okozó *Shevtchenkella serrata* bizonyult a leggyakoribb fajnak. A hegyi juhar (*Acer pseudoplatanus*) és a mezei juhar levelén nem ritka faj az *Aceria macrorhycha*, amely kicsi, gömbölyű, kiemelkedő, gyöngyszerű gubacsokat okoz (28. és 29. kép). A mezei juhar levélfonákán egy másik faj, az *Aceria macrochela* erineumot képez, amely fölött a levél színe kidudorodik (30. kép). A korai juhar kérgén az *Aceria heteronyx* okoz hosszú éveken keresztül megmaradó, kisméretű, szemölcsöszerű, kiemelkedő gubacsokat (31. kép). Hegyi juhar levél színén sárgászöld elszíneződés jelzi a levél fonákán létrejövő erineumot, amelyet az *Aceria pseudoplatani* vált ki (32. kép). A hegyi juhar levélfonákán a fő- és az oldalereken szivogató *Cecidophyes siculus* fajt hazánkban írták le (Ripka 2009c). Az Észak-Amerikában őshonos ezüst juhar (*Acer saccharinum*) levelein a levél színéből kiemelkedő, szabálytalan alakú, ± gömbölyded, idővel elszíneződő gubacsokat a *Vasates quadripedes* okozza (33. kép).

Kecskerágók (*Euonymus* spp.): A bibircses kecskerágó (*Euonymus verrucosus*) és a csíkos kecskerágó (*Euonymus europaeus*) levelének fonákán a *Cecidophyes psilonotus* okoz ezüstfehér színű erineumot (34. kép). A csíkos kecskerágó levelén élő *Eriophyes euonymi* szivogatásának hatására a levelek széle a színe felé keskenyen besodródik (35. kép).

Varjútövis-benge (*Rhamnus cathartica*): Az *Aceria rhamnii* a levelek barnulását, az *Aequosomatus annulatus* a levelek fonákán erineumot okoz. Két kevésbé gyakori faj a *Pentamerismus septemcarinatus* és a *Tetra rhamnii* a levelek fonákán szabadon él. A varjútövis-benge és a kínai benge (*Rhamnus utilis*) levélfonákán, erek által határolt erineumot képez a hazánkban leírt *Floracarus atillai* faj (Ripka 2009b).



Körisek (*Fraxinus* spp.): Köriseken leggyakrabban a virágzat- és termés gubacsot előidéző *Aceria fraxinivora* és a levél deformációt okozó *Tegolophus califraxini* (36. kép) fajok szembetűnő tüneteivel találkozhatunk. Amerikai köris (*Fraxinus pennsylvanica*) gubacsos terméséről Európában elsőként hazánkból került elő az *Aceria fraxiniflora* (Korda & mtsai 2019). Az *Aceria fraxiniflora* (37. kép) és az *Aceria fraxinivora* (38. kép) szivogatásának hatására szövetburjánzás következik be, az egyes virágok és termések torzulnak, kezdetben zöldes majd megbarnuló és megkeményedő, végül megfeketedő, a fán sokáig megmaradó, karfiolszerű gubacsok alakulnak ki. Az *A. fraxinivora* különösen a lombfakadás előtt nyíló magas körisen (*Fraxinus excelsior*) gyakori, de a virágos- (*Fraxinus ornus*) és a magyar körisen (*Fraxinus angustifolia*) is előfordul. Magas- és magyar körisen az *Aculus fraxini* egyedei szintén tömegesen élnek a levélgerinc árkában, valamint a levél fonákán a főéren és annak közvetlen közelében. Az előbb említett három körisfaj levélfonákán szabadon élő *Tegonotus collaris* hazánkban nem ritka faj (Ripka 2007).

Fagyal (*Ligustrum vulgare*): Az *Aceria ligustri* a széleslevelű fagyal (*Ligustrum ovalifolium*) rügeiben és rövid szártagú hajtásán károsít. Az *Aculus ligustri* és a *Shevtchenkella ligustri* a fagyal levelek fonákán szivogatnak és a lombozat sárgulását, barnulását, erős fertőzés esetén korai elvesztését okozzák.

Fekete bodza (*Sambucus nigra*): A bodza-levélatka (*Epitrimerus trilobus*) a hazánkban élő egyik leggyakoribb gubacsatka faj. A hajtásvégi levelek gyűrődését, ráncosodását és torzulását okozza (Ripka & de Lillo 1997) (39. kép). Mind a természetett mind a természetes élőhelyeken élő bodzabokrokra károsít a faj.

Hosszútűs fenyők (*Pinus* spp.): Nagyon hiányosan ismert a nyitvatermőkön, ezen belül a fenyőkön élő hazai négy lábú atkafauna. Erdei fenyőn (*Pinus sylvestris*) a *Trisetacus pini*, fekete fenyőn (*Pinus nigra*) a *Platyphytoptus sabinianae* és az *Eriophyes hunniacus*, vörösfenyőn (*Larix decidua*) a *Boczekella laricis*, jegenyefenyőn az *Epitrimerus pilisensis* és egy *Nalepella* genusba tartozó faj jelenlétéről van adat (Farkas 1966, Ripka 2007, 2009c, 2010b). Az említett fajok többsége a tűlevelek alapját körülvevő hártás tűhüvely alatt él. A *Trisetacus pini* az erdei fenyő kérgén okoz kerekded vagy hosszúkás gubacsokat. A *Platyphytoptus sabinianae* szivogatásának hatására a fekete fenyő tűlevelei csavarodnak, sárgulnak, és a növekedésben visszamaradnak.

Ciprusfélék (Cupressaceae): Keleti tuján (*Thuja orientalis*) a *Trisetacus thujae*, a *Trisetacus juniperinus* és a *Calepitrimerus occithujae* fajok előfordulását közölték (Farkas 1966; Ripka & de Lillo 1997). A pikkelylevelek torzulását, elszíneződését valamint a rügek elhalását okozzák. A *Trisetacus juniperinus* a közönséges boróka bogyoín is szivogat.

Tiszafa (*Taxus baccata*): A tiszafa rügeit és leveleit a *Cecidophyopsis psilaspis* károsítja. Az atka szivogatásának hatására a rügek gubacsosodnak ('big bud'), és a levelek kisebbek lesznek (Farkas 1966, Ripka & de Lillo 1997).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Farkas H. 1966: Gubacsatkák – Eriophyidae. Fauna Hungariae, Akadémiai Kiadó, Budapest 81(18): 1–164.
- Fauna Europaea 2004: Fauna Europaea version 1.3., Taxon Details. <http://www.faunaeur.org> [2020. VIII. 29.] 61/2017. (XII. 21.) FM rendelet az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról szóló 2009. évi XXXVII. törvény végrehajtásáról
- Korda M., Csóka Gy., Szabó Á. & Ripka G. 2019: First occurrence and description of *Aceria fraxiniflora* (Felt, 1906) (Acariformes: Eriophyoidea) from Europe. Zootaxa 4568 (2): 293–306. <http://doi.org/10.11646/zootaxa.4568.2.5>
- Lindquist E. E. & Amrine J. W., Jr. 1996: Systematics, diagnoses for major taxa and keys to families and genera with species on plants of economic importance. In: Lindquist E. E., Sabelis M. W. & Bruin J. (eds): Eriophyoid mites – their biology, natural enemies and control. World crop pests, 6. Elsevier, Amsterdam, Lausanne, New York, Oxford, Shannon, Tokyo, 33–84.

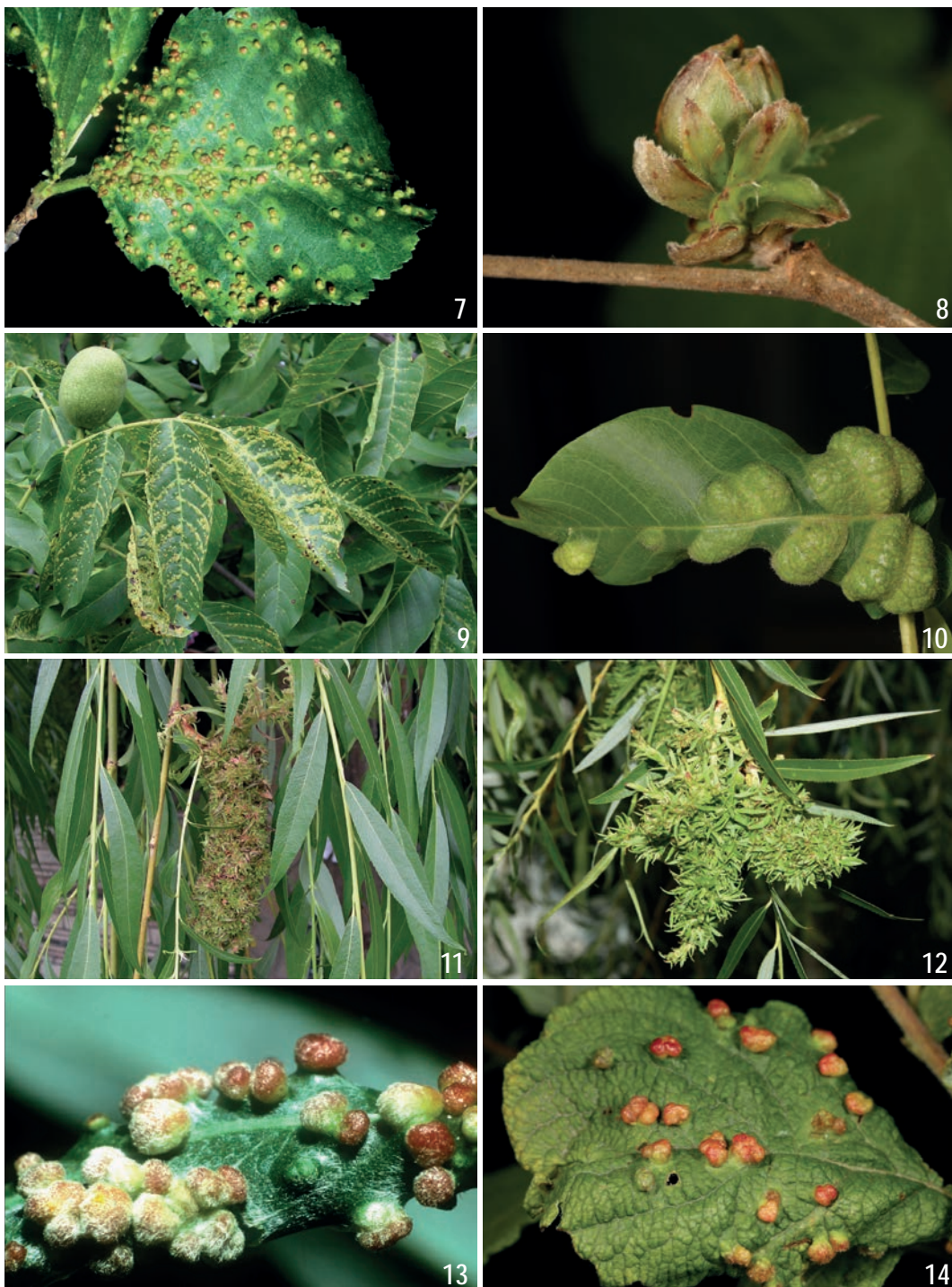
- Lindquist E. E. & Oldfield G. N. 1996: Evolution of eriophyoid mites in relation to their host plants. In: Lindquist E. E., Sabelis M. W. & Bruin J. (eds): Eriophyoid mites – their biology, natural enemies and control. World crop pests, 6. Elsevier, Amsterdam, Lausanne, New York, Oxford, Shannon, Tokyo, 277–300.
- Navia D., Ochoa R., Welbourn C. & Ferragut F. 2010: Adventive eriophyoid mites: a global review of their impact, pathways, prevention and challenges. *Experimental and Applied Acarology* 51: 225–255.
- Nuzzaci G. & de Lillo E. 1996: Perspectives on eriophyoid mite research. *Entomologica Bari* 30: 81–100.
- Oldfield G. N. 1996: Diversity and host plant specificity. In: Lindquist E. E., Sabelis M. W. & Bruin J. (eds): Eriophyoid mites – their biology, natural enemies and control. World crop pests, 6. Elsevier, Amsterdam, Lausanne, New York, Oxford, Shannon, Tokyo, 199–216.
- Ripka G. 2007: Checklist of the eriophyoid mite fauna of Hungary (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 42 (1): 59–142.
- Ripka G. 2009a: Növényvédelmi akarológia. Kártevő és hasznos atkák. Agroiinform Kiadó, Budapest, 1–161.
- Ripka G. 2009b: New shrub-infesting *Floracarus*, *Acaphyllisa* and *Anthocoptes* species from Hungary (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 44 (1): 75–86.
- Ripka G. 2009c: New tree-infesting *Cecidophyes*, *Eriophyes*, *Rhyncaphytoptus* and *Aceria* species from Hungary (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 44 (1): 87–100.
- Ripka G. 2010a: Jövevény kártevő izeltlábúak áttekintése Magyarországon (I.). *Növényvédelem* 46 (2): 45–58.
- Ripka G. 2010b: A new *Rhynchophytoptus* and a new *Epitrimerus* species from Hungary (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 45 (1): 149–157.
- Ripka G. 2010c: A new *Calepitrimerus* species and new gall mite records from Hungary (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 45 (2): 383–389.
- Ripka G. 2011: New *Quercus*-feeding *Brevulacus* species, redescription of *Rhynchophytoptus cerrifoliae* Farkas and new eriophyoid mite records from Hungary (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 46 (1): 129–138.
- Ripka G. 2014: A new *Aceria* species (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea) on *Xeranthemum annuum* from Hungary. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 49 (1): 57–65.
- Ripka G. 2017: A new *Aculops* species (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea) on *Stachys recta* (Lamiaceae) from Hungary. *Biologia* 72 (5): 542–547. DOI: <https://doi.org/10.1515/biolog-2017-0055>
- Ripka G. & de Lillo E. 1997: New data to the knowledge on the eriophyoid fauna in Hungary (Acari: Eriophyoidea). *Folia Entomologica Hungarica* 58: 147–157.
- Ripka G. & Csóka Gy. 2010: New *Quercus*-infesting *Bariella* and *Glyptacus* species and redescription of *Aceria cerrigemmarum* (Nalepa) from Hungary (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 45 (1): 223–234.
- Ripka G. & Szabó Á. 2011: New plant-inhabiting mite records from Hungary (Acari: Mesostigmata, Prostigmata and Astigmata). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 46 (2): 261–266.
- Rosenthal S. S. 1996: *Aceria*, *Epitrimerus* and *Aculus* species and biological control of weeds. In: Lindquist E. E., Sabelis M. W. & Bruin J. (eds): Eriophyoid mites – their biology, natural enemies and control. World crop pests, 6. Elsevier, Amsterdam, Lausanne, New York, Oxford, Shannon, Tokyo, 729–739.
- Smith L., de Lillo E. & Amrine J. W. 2010: Effectiveness of eriophyid mites for biological control of weedy plants and challenges for future research. *Experimental and Applied Acarology* 51: 115–149. DOI: 10.1007/s10493-009-9299-2 [2011. XII. 13.]
- Soika G. & Kozak M. 2013: *Eriophyes* species (Acari: Eriophyoidea) inhabiting lime trees (*Tilia* spp.: Tiliaceae) – supplementary description and morphological variability related to host plants and female forms. *Zootaxa* 3646 (4): 349–385. <http://doi.org/10.11646/zootaxa.3646.4.3>
- Xue X.-F., Dong Y., Deng W., Hong X.-Y. & Shao R. 2017: The phylogenetic position of eriophyoid mites (superfamily Eriophyoidea) in Acariformes inferred from the sequences of mitochondrial genomes and nuclear small unit (18S) rRNA gene. *Mol. Phylogenet. Evol.* 109: 271–282. DOI: 10.1016/j.ympev.2017.01.009.

KÉPEK

A képek szerzői: Ripka Géza (©RG) és Csóka György (©CsGy)



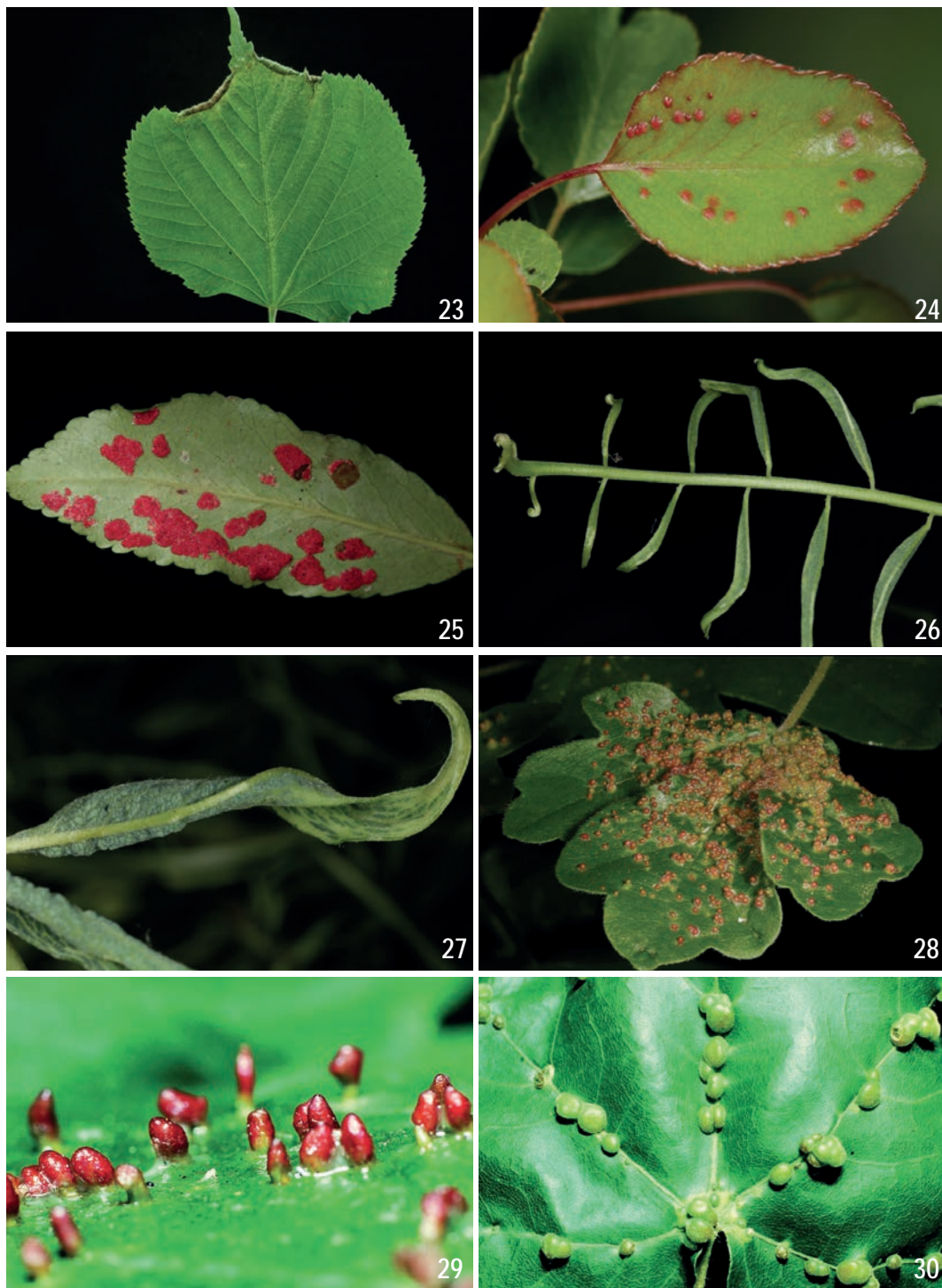
1. kép: *Aceria campestricola* (©CsGy); 2. kép: *Aceria cerrea* (©CsGy); 3. kép: *Aceria cerrigemmarum* (©CsGy);
4. kép: *Aceria nervisequa* (©CsGy); 5. kép: *Aculops macrotrichus* (©CsGy); 6. kép: *Acalitus brevitarus* (©CsGy)



7. kép: *Eriophyes laevis* (©CsGy); 8. kép: *Phytoptus avellanae* (©CsGy); 9. kép: *Aceria tristriata* (©RG); 10. kép: *Aceria erineae* (©CsGy);
 11. kép: *Stenacis palomaris*, *Aculus gemmarum*, *Anthocoptes salicis* (©RG); 12. kép: *Stenacis triradiatus* (©CsGy);
 13–14. kép: *Aculus tetanothrix* (©CsGy)



15. kép: *Eriophyes diversipunctatus* (©CsGy); 16. kép: *Aceria dispar* (©CsGy); 17–18. kép: *Aceria populi* (©CsGy);
19–20. kép: *Eriophyes tiliae* (©CsGy); 21. kép: *Eriophyes exilis* (©RG); 22. kép: *Eriophyes exilis* (©CsGy)



23. kép: *Phytoptus tetratrichus* (©CsGy); 24. kép: *Eriophyes pyri* (©CsGy); 25. kép: *Aceria pyracanthi* (©CsGy);
 26. kép: *Aculops allotrichus* (©CsGy); 27. kép: *Aculops allotrichus* (©CsGy); 28–29. kép: *Aceria macrorhycha* (©CsGy);
 30. kép: *Aceria macrochela* (©CsGy)



31



32



33



34



35



36



37



38

31. kép: *Aceria heteronyx* (©CsGy); 32. kép: *Aceria pseudoplatani* (©CsGy); 33. kép: *Vasates quadripedes* (©RG);
 34. kép: *Cecidophyes psilonotus* (©CsGy); 35. kép: *Eriophyes euonymi* (©CsGy);
 36. kép: *Tegolophus califraxini* (©RG); 37. kép: *Aceria fraxiniflora* (©CsGy); 38. kép: *Aceria fraxinivora* (©CsGy)



39. kép: *Epitrimerus trilobus* (©RG)

Érkezett: 2020 augusztus 18
Közlésre elfogadva: 2020. november 9.



Kökény-bonzai

A szarvas által szívesen látogatott erdőszegélyek kökénybokrainak gyakran sanyarú sors jut osztályrészül. Az ismétlődő, erős rágás eredményeként az ágvégeken bábaprúre vagy bonzaiokra emlékeztető képződmények jönnek létre. Ezek az egyedek sohasem fognak olyan magasra nőni, hogy megmeneküljenek a vad szájától.

Fotó és szöveg: Csóka György (NAIK ERTI, Mátrafüred)

ERDŐ EGÉSZSÉGI ÁLLAPOT VIZSGÁLATOK A KASZÓ-LIFE PROJEKT KERETÉBEN

Koltay András¹, Fürjes-Mikó Ágnes¹, Tenorio-Baigorria Imola¹, Eötvös Csaba Béla¹
és Horváth László²

¹NAIK ERTI Erdővédelmi Osztály, Mátrafüred

²KASZÓ Zrt., Kaszó

Kivonat

A 2014–2018 között megvalósult „KASZÓ-LIFE” program keretében élőhely rehabilitáció történt a KASZÓ Zrt. területén, enyves éger (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) és kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) állományokban. A területen vízvisszatartó létesítmények segítségével próbálják csökkenteni, illetve lassítani a talajvíz süllyedését, javítani az erdők talajának vízháztartását, és ezen keresztül az erdők egészségi állapotát. Az erdők egészségi állapotának megfigyelésére mintaterületeket jelöltünk ki, ahol évente két alkalommal rögzítettünk adatokat. Az adatokat összevetettük a talajvíz, csapadék és meteorológiai mérések eredményeivel. A rendszeres egészségi állapot felvételezésekkel felmértük a bekövetkezett változásokat, és meghatároztuk a területen rendszeresen előforduló kárformákat és ezek kiváltó okait. Az eddigi vizsgálatok adatai azt mutatják, hogy mind a tölgyek, mind az égerek esetében 2017-től már kisebb mértékű javulás jelentkezett a kontroll területekhez képest. Ugyanakkor a vizsgált időszak relatív rövidsége miatt még nem lehet egyértelmű következtetéseket levonni a program sikerességéről, de a megfigyelések folytatásával erre is lehetőség nyílik a jövőben.

Kulcsszavak: KASZÓ-LIFE, erdő egészségi állapot, talajvízszint, enyves éger, kocsányos tölgy

HEALTH CONDITION INVESTIGATION OF FORESTS IN KASZÓ-LIFE PROJECT

Abstract

The „KASZÓ-LIFE” programme, which was developed between 2014 and 2018, aimed the restoration and improvement of the growing conditions of the Common alder (*Alnus glutinosa*) and the Pedunculate oak (*Quercus robur*) tree estimate. With the help of water retention facilities in the area, the reduction of the subsidence of groundwater was attempted, as well as the improvement of the water balance of the forest's soil, and thus the health of the forests. Sampling areas have been designated in order to monitor the health conditions of the forests where the tree examination is carried out twice a year. Comparing the health data along with the results of groundwater, precipitation and meteorological measurements, we may come to a conclusion in the future concerning the forthcoming changes exhibited in the forests. Examinations so far have shown that both in the case of oaks and alders, from 2017 there was a slight improvement comparing to the control areas. However, due to the relative shortness of the period, this does not yet clearly indicate the success of the programme, which must be supported by many years of test results.

Keywords: KASZÓ-LIFE, forest health condition, groundwater level, *Alnus glutinosa*, *Quercus robur*



BEVEZETÉS

A termőhely és ezen belül a klimatikus viszonyok, az időjárás egyes elemeinek változásai nagymértékben befolyásolják az erdők fejlődését, az egyes fajok elterjedési lehetőségeit, de e mellett nagy hatással vannak az erdők egészségi állapotának alakulására hazánkban és Európában egyaránt (Barcza et al 2011, Führer 2018, Michel et al 2019). Ez a hatás lehet közvetlen, azonnali hatás pl. viharok, vagy hosszabb távra ható tényezők, mint pl. az aszály. Az időjárás elemeinek változása rendszerint gyorsan és egyértelműen érzékelhető a fák, erdők egészségi állapotán, míg a klimatikus változások hatása rendszerint lassú folyamat, nehezebben azonosítható. A klímaváltozás ténye ma már nem megkérdőjelezhető és az is egyértelműnek tűnik, hogy a jövőben ezek a változások folyamatosan jelen lesznek, amire lehetőségeinkhez mérten fel kell készülnünk (Bartholy et al 2007, Lakatos & Bihari 2011). Klimatikus szempontból leginkább a csapadék és hőmérséklet adatokkal jellemezhető egy terület, e két paraméter van a legnagyobb hatással az erdőkre, ezen belül az egészségi állapotra is (Csóka et al 2009). A jövőben egyre gyakoribbá váló aszályos időszakok, a várhatóan kevesebb csapadék és annak kedvezőtlen eloszlása nagy hatással lesz az egyes fajok elterjedésére, vitalitására, növekedési viszonyaira és a mortalitás kockázatának emelkedésére (Gálos & Führer 2018). Mindezek felvetik a termőhely változásának kérdését, ezen belül a vízellátottság erdőkre gyakorolt hatását. Amennyiben a szárazodás beigazolódik, úgy várhatóan a transpirációhoz szükséges talajból felvehető víz mennyisége is csökken, esetenként nem lesz elegendő a fák számára (Somogyi 2018). Ez folyamatos hő- és vízstresszhelyzetet teremt a fák számára, ami lehetővé teszi a különféle biotikus károsítók hatásainak felerősödését. E negatív hatások csökkentésére a változó klimatikus viszonyokhoz jobban adaptálódott szaporítóanyagot és szükség esetén akár új fajfajokat kellene felkarolni (Borovics 2018), vagy a termőhelyi viszonyok negatív irányú változásait kellene csökkenteni. Ez utóbbira lehet megoldás az erdőterületek vízellátásának javítása, a zavartalan fejlődéshez szükséges csapadékvíz pótlása, az egyenetlen eloszlású csapadék visszatartása.

A „KASZÓ-LIFE” program élőhely rehabilitációt, azon belül az enyves éger (*Alnus glutinosa*) és kocsányos tölgy (*Quercus robur*) állományok termőhelyi viszonyainak helyreállítását, javítását tűzte ki célul. A közel 2100 hektáros projektterületen az erdők számára az alapvető problémát az elmúlt évtizedekben tapasztalható talajvízszint depressziója okozza, ami részben emberi beavatkozások (vízfolyások kanyarulatainak levágása, vízelvezető árkok építése), részben pedig a manapság egyre jellemzőbb csökkenő mennyiségű és egyenetlen eloszlású csapadék következménye (Nagy & Nagy 2012). Ennek eredményeként például a terület kiemelt természeti értékét képviselő Baláta tó vízszintje évről évre jelentős ingadozást mutat. A tagadhatatlanul bekövetkezett klímaváltozás a meglévő erdők, lápok élővilágára kedvezőtlenül hat, azok egészségi állapotának romlásához vezet, hosszú távon megmaradásukat veszélyezteti (Majer et al 2002). Azáltal, hogy a talajvízszint fokozatosan süllyed, elindul az érintett területen fellelhető élőhelyek szárazodása, melynek következménye, hogy az enyves éger és kocsányos tölgy alkotta ligeterdők – mivel köztudottan nagy a vízigényük – visszaszorulnak, helyükbe más, természetvédelmi szempontból kevésbé értékes élőhelyek lépnek. A szárazodás hatására megjelenhetnek és elterjedhetnek korábban a területen nem jellemző, invazív növényfajok, idegenhonos károsítók, kórokozók, így megnőhet az erdőgazdálkodás szempontjából nemkívánatos rovar és gombafajok kártétele. Mindezek mellett a klímaváltozás eredményeként szélsőségesé váló időjárási tényezők, viharok, kései fagyok és egyéb káros hatások ugyancsak komoly veszélyt jelentenek az erdők számára (Tóth 2003).

A „KASZÓ LIFE” program keretén belül végrehajtott beavatkozások célja közvetlenül vagy közvetve e nemkívánatos hatások megállítását, visszafordítását célozza, az időjárás okozta szélsőségek hatásainak mérséklésével, a lehullott csapadék vízfolyásokon történő levonulásának lassításával és a víz helyben tartásával.

Az alábbiakban bemutatjuk a projekt keretében vizsgált kocsányos tölgy és enyves éger mintaparcellákban, 2014–2019 között bekövetkezett változásokat, elsősorban a fák egészségi állapotára és a leggyakrabban előforduló kárformákra fókuszálva.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A projekt első éveiben a területen található, korábban a Taranyi-Rinya vízének felduzzasztásával létesített Kúvölgyi-tórendszer rehabilitációja történt. Mederkotrással, mélyítéssel, új völgyzáró gátak kialakításával állandósították a tavak vízszintjét, továbbá két új tó kialakítása is megvalósult 2016 végére. Ezekkel a beavatkozásokkal az eredeti, összesen 7 hektár nagyságú két tavat, négy tóból álló, közel 16 hektáros tórendszerre bővítették, amely 135 000 m³ vizet tud tárolni, ezzel folyamatos talajvíz-vízutánpótlást biztosítva a környező erdőknek. Belső-Somogy erdőterületeit sekély medrű időszakos (nyári időszakban kiszáradó) vízfolyások, népi elnevezéssel rinyák hálózják be. Ezek kanyargós medrét korábban több helyen szabályozták, vagyis kiegyenesítették és kimélyítették (Nagy & Nagy 2012). Ennek következtében a víz gyorsabban folyik le, így a környező erdők csak rövidebb ideig tudják a számukra nélkülözhetetlen vizet hasznosítani. Ezért a leérkező csapadék lokális visszatartása, tározása érdekében, mederbordákat helyeztek el, hogy a lehulló csapadék minél hosszabban maradjon a területen. A vízfolyások mintegy 15 km hosszú szakaszára a terepadottságoktól függően, átlagosan 100 méterenként fából készült mederbordák lettek beépítve, összesen 123 darab, amelyek elkészülte ugyancsak 2016 végére tehető. A folyásirányra merőleges mederbordák lassítják a lefolyást, megemelik a vízszintet. Ennek köszönhetően a medrekben lefolyó víz nagyobb hányada szivároghat a talajba, ezzel emelve a talajvíz szintjét.

A fentiekben bemutatott vízvisszatartás erdőkre gyakorolt hatásainak vizsgálatára monitoring rendszert alakítottak ki. Ennek egyik eleme a Kaszó belterületén, 2014 októberében üzembe helyezett agrometeorológiai állomás (<http://met.boreas.hu/erti/>), amelynek feladata az alapvető meteorológiai paraméterek mérése, különös tekintettel a vízforgalom bemeneti oldalára, illetve az azt leginkább befolyásoló tényezőkre, mint a csapadék és hőmérséklet. A számos meteorológiai adat mérése mellett a talajvízszint változásainak nyomon követésére 2014 májusában 14 talajvíz kutat létesítettek a projekt területén kijelölt mintaparcellákban, valamint 4 kutat a kontroll területeken. A vízszint változásait heti rendszerességgel jegyezték fel.

A beavatkozások erdőkre gyakorolt hatásainak vizsgálatára 18 mintaterületet jelöltünk ki 2014 tavaszán. A projekt területén 10 éger és 4 kocsányos tölgy, míg kontrollként a vízvisszatartással nem érintett területen 2 éger és 2 kocsányos tölgy parcellát alakítottunk ki (1. ábra). A mintaterületeken 100–100 állandósított, egyedileg számozott mintafán vizsgáltuk az egészségi állapot alakulását. 2014–2018 között folyamatosan monitoroztuk az erdőket évi két alkalommal, május végén és szeptember elején, meghatározva a fák részletes egészségi viszonyait, a lombkoronától a törzsön át a gyökfőig, feljegyezve valamennyi látható elváltozást, károsodást. Mivel a „KASZÓ-LIFE” projekt 2018 decemberében befejeződött, így 2019-től utókövetés történik, ezért az egészségi állapot felvételeket csak ősszel végezzük. A megfigyelési adatokat feldolgoztuk, értékeltük, valamint összevetettük a talajvíz és meteorológiai adatokkal.

Az erdőkben bekövetkező állapotváltozások, hosszú távú megfigyelések megvalósítása csak objektív alapokon nyugvó, világos, egyértelmű vizsgálati metodikával biztosítható. Ezt a célt szolgálja a NAIK Erdészeti Tudományos Intézetében is alkalmazott, nemzetközi erdőállapot felmérési metodika, melyet az Európai Unió tagállamainak szakértői dolgoztak ki a '80-as évek közepén (Eichhorn et al 2016). Magyarországon 1989 óta használják ezt az egységesített és a tagállamok által elfogadott metodikát, amelyet az elmúlt évek során többször átalakítottak, továbbfejlesztettek.

A felvételezések során, valamennyi mintaterületen az összes számozott mintafa egészségi állapotát rögzítjük, így a koronában a lombzat, az ágak, a törzs és a gyökfő minőségét, a lehetséges összes paramétert figyelembe véve határozzuk meg. A lombvesztést egy, az adott területre jellemző teljesen egészséges fához, mint etalonhoz mérve becsüljük meg 5%-os pontossággal. A többi paramétert 10%-os ugrásokkal rögzítjük. Amennyiben mód van rá, azonosítjuk az adott egyedeken előforduló kártevők, kórokozók pontos körét, előfordulását és felmérjük az általuk okozott károk mértékét. A biotikus eredetű károsodások mellett meghatározzuk az abiotikus eredetű károkat is. Ennek meghatározásában és azonosításában nagy szerepe van a meteoro-

Az egészségi állapot felvételeket évente két alkalommal végeztük. Az elsőt – az időjárás viszonyokat figyelembe véve – május végén, június első felében, amikor a tavasszal, kora nyáron előforduló károsítók, kórokozók jelenléte nyilvánvaló, valamint a tavaszi, téli abiotikus hatások még jól azonosíthatók. A második felvételezést augusztus végén, szeptember elején, amikor a vegetációs időszak utolsó harmadában már jól láthatóak az éves változások kumulált tünetei, de nem jelennek meg az őszi lombvesztésből adódó természetes elváltozások. E felvételek összesített adatai alapján pontosan meghatározható és leírható az adott állomány általános egészségi állapota és a változások mértéke, iránya. Az adatok kiértékelésekor, a grafikonokon az őszi felvételi adatokat mutatjuk be, mivel ezek az őszi adatok tükrözik leginkább az állományokban bekövetkezett egészségi állapot változások kumulált, tényleges hatásait.

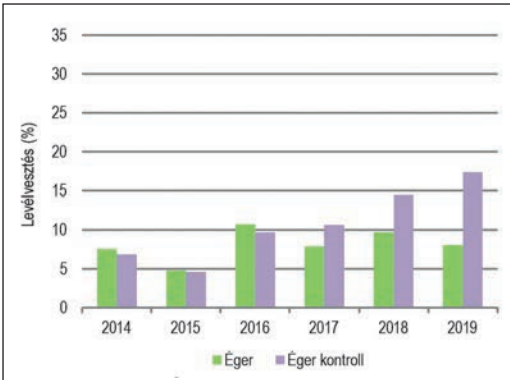
A felvételi metodika a terepi felvételek mellett magában foglalta a folyamatos vizuális adatrögzítést is. Valamennyi mintaparcellában, évről évre ugyanazon „etalon” fákról fénykép készült, amely fotó rögzíti az adott parcellában álló, tipikus egészséges, valamint egy beteg fa jellegzetességeit. E fotók dokumentálják az egészségi állapot besorolásokat adott állományra vonatkozó viszonyítási értékeit. Mindezeket túl az állományok egészéről is fotó dokumentáció készült, kiegészítve a jellegzetes kárképekkel, az egészségi állapotot leginkább befolyásoló tényezők digitális fotókkal való rögzítésével.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Levévesztés

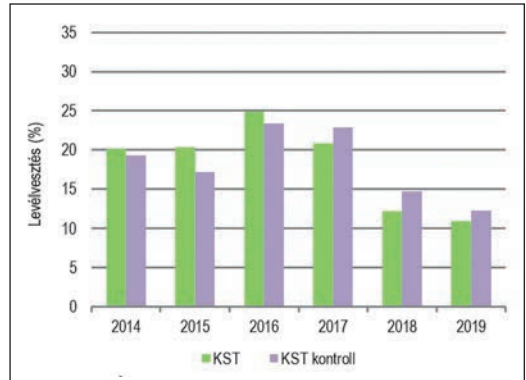
Az egészségi állapotra vonatkozó adatokat összesítve megállapítható, hogy a 2014–2019 közötti időszakban változatosan alakult a fák egészségi állapota mind a projekt területen mind a kontroll állományokban egyaránt. Elsőként a levévesztést kell kiemelni, mivel ez a legfontosabb és egyben legszembetűnőbb paraméter a fák egészségi állapotát tekintve. A lombfogyasztók, kórokozók illetve az abiotikus hatások elsősorban a lombfelületet érintik, illetve az egészséges lombfelület arányát csökkentik. Ezek mellett a fiziológiai hatások, a talaj minősége, tápanyagtartalma, nedvességi viszonyainak anomáliái szintén a lombfelület csökkenésében, vagy rendellenes elszíneződésében, alakváltozásaiban nyilvánulnak meg.

Az idősoros adatok elemzései azt mutatják, hogy az évről évre jelentkező átlagos lombvesztés mértéke az égerek esetében 5–10%-os sávban mozog, míg a tölgyeknél ez az arány 15–20% körül alakult a vizsgált időszakban. A két fafaj lombvesztésében adódó különbség természetesnek mondható, mivel az égereken élő kártevők, kórokozók száma jóval kisebb, mint a tölgyeken élőké. Az adatok szerint az égerek esetében 2016 őszéig az átlagos lombvesztés értéke minden esetben nagyobb volt a projekt területén, míg 2017-től ez az arány megfordult, és a következő években már a kontroll területeken mutatkozott magasabb átlagos levévesztés. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy az eltérés kezdetben nagyon minimális volt, nem érte el a 0,5%-ot, de 2017-től a különbség évről évre emelkedett, és 2019-ben már 9,3%-os eltérést regisztráltunk. Az égerekhez hasonlóan az átlagos lombvesztésben bekövetkezett változás a tölgyek esetében is megfigyelhető volt. 2017 előtt a kontroll területek fáin észleltük az alacsonyabb értékeket, míg 2017-től a projekt területén mutatkozott a kisebb levévesztés. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a tölgyeknél az eltérés minimális a kontroll és projekt területek között, mindössze 1–2% (2–3. ábra).



2. ábra: Átlagos levévesztés égereken
2014–2019 őszi adatok

Figure 2: Average defoliation on Common alders
2014–2019, autumn data



3. ábra: Átlagos levévesztés kocsányos tölgyeken
2014–2019 őszi adatok

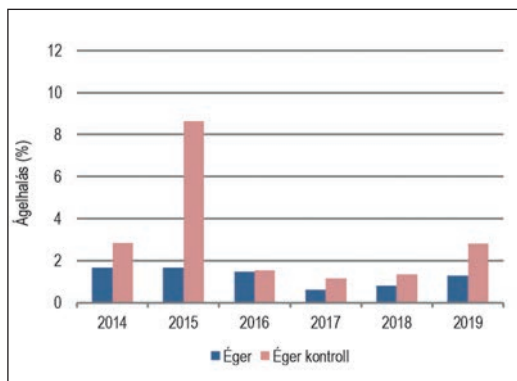
Figure 3: Average defoliation on Pedunculate oaks
2014–2019, autumn data

Ágelhalás

A fák egészségi állapotának másik kiemelten fontos paramétere az ágelhalás mértéke. Az ágelhalás mértékének megállapítása során a vékonyabb ágak és a vázágak elhalását is figyelembe vettük, összevontan kezeltük. A vizsgált években több esetben söpört végig nagy erejű szél a kaszói erdőtömb területén, jelentős károkat okozva a koronákban. (2015 májusában két alkalommal, 13-án 13,9 m/s, 27-én 12,6 m/s, 2016-ban június 17-én 12,3 m/s, július 16-án 14,7 m/s, 2017-ben április 20-án 16,2 m/s, május 21-én 13,8 m/s, június 29-én 15,8 m/s erejű szellőkéseket rögzített az állomás.) Az erős szellőkések hatására egymáshoz csapódó koronákban gyakran sérült a lombzat valamint a vékonyabb ágak, hajtások, de ez nem járt a vázágak elhalásával. A vázág elhalások jellemzően a leromlásos tünetek jellegzetes kísérői, rendszerint xilofág rovarok károsítása, vagy parazita gombafajok támadása miatt alakulnak ki. A vázágak elhalása permanensen jelen lévő tünet, míg a vékonyabb ágak képesek regenerálódni, ezért az ágelhalás értékei is évről évre változhatnak.

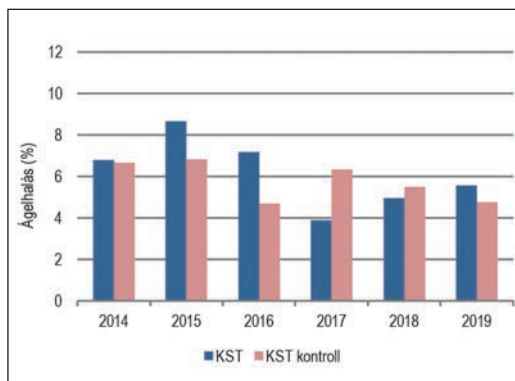
Az égerek esetében az átlagos ágelhalás már a vizsgálatok kezdete óta alacsonyabb a projekt területén, mint a kontroll területeken. Ezzel szemben a tölgyeknél fordított a helyzet, 2017 tavaszáig a kontroll területek állományaiban volt alacsonyabb ez az érték. Ugyanakkor 2017 őszére fordult a helyzet és a kontroll állományokban regisztráltunk nagyobb mértékű ágelhalást. A különbség 2018-ban is megmaradt, de 2019-ben ismét a kontroll területen jelentkezett kisebb mértékű ágelhalás. Ezek az eltérések, ingadozások minimálisak, 1–2%-ot tesznek ki. Az ágelhalásban jelentkező eltérések egyelőre nem tekinthetők trendszerűnek, a hosszabbtávú vizsgálati eredmények adhatnak majd pontosabb választ az esetlegesen kialakuló trendekről (4–5. ábra).

A tavaszi lombvesztési és ágelhalási adatokat ugyancsak vizsgáltuk, összevetve az őszi adatsorokkal, de jellemzően a tavaszi felvételek adatait inkább tájékoztató jellegűnek tekintettük az aktuális károsítások azonosításához. A tavaszi felvételek többnyire az állományokban előforduló tavaszi, kora nyári aszeptusú kárformák felvételezését, regisztrálását szolgálják. Az őszi kialakuló korona állapot az, ami jellemzően tükrözi a vegetációs időszakban bekövetkező károk összességét.



4. ábra: Átlagos ágelhalás égereken
2014–2019 őszi adatok

Figure 4: Average branch dieback on Common alders,
2014–2019, autumn data



5. ábra: Átlagos ágelhalás kocsányos tölgyeken
2014–2019 őszi adatok

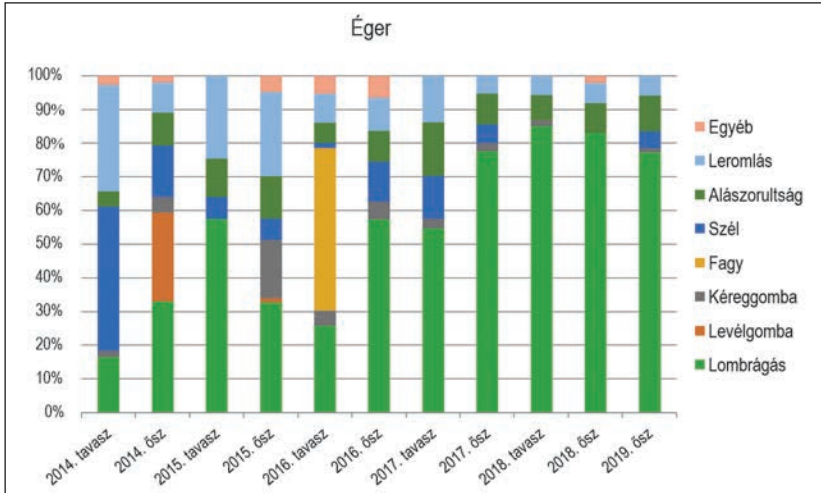
Figure 5: Average branch dieback on Pedunculate oaks,
2014–2019, autumn data

Kárformák

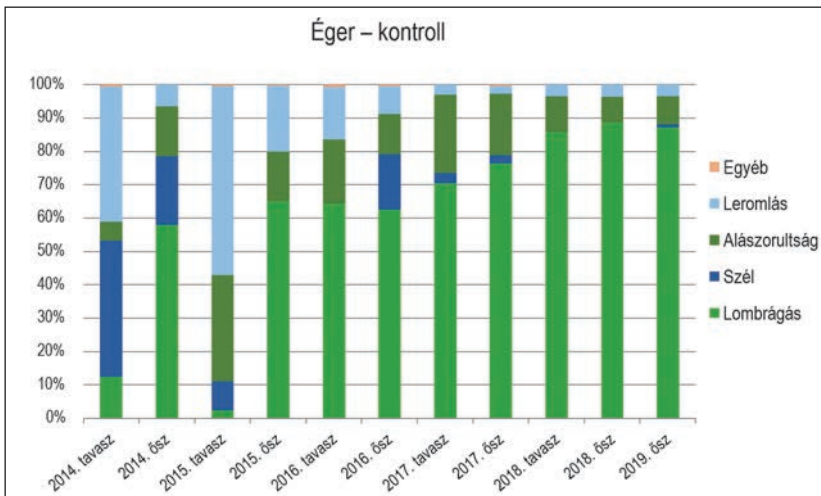
Az állományokban előforduló károsodásokat kiváltó okokat vizsgálva megállapítható, hogy az éger és a tölgy esetében természetesen más-más tényezők hatása dominál. A kárformákban és az azokat kiváltó tényezőkben a tavaszi és őszi felvételek adatai is eltéréseket mutatnak (kései fagykár, levélgombák, lomb-rágás), mivel az egyes kiváltó tényezők szezonalitása más és más. Többek között ez is indokolta az évi két alkalommal végzett felvételezéseket.

Az égerekben tavasszal, évről évre kiemelkedő kárforma a lomb-rágás, valamint esetenként a szél (2014), vagy a fagy (2016). Ősszel ugyancsak a lomb-rágás a domináns kárforma, de e-mellett a leromlás, alászorultság, kéreggomba és levélgomba kárképei is megjelennek (6–7. ábra). A fák átlagos egészségi állapotát jól jellemzi az úgynevezett leromlásos tünet együttes. Ennek közvetlen kiváltó oka nem azonosítható, ugyanakkor lombvesztésben és ágelhalásban nyilvánul meg, rendszerint többtényezős, komplex hatások következtében. Ennek a kárformának a gyakorisága tükrözi leginkább egy állomány átlagos egészségi állapotát. Ezt figyelembe véve megállapítható, hogy az égerek esetében ez a kárforma 2015 ősztől folyamatosan csökken. Meg kell ugyanakkor jegyezni, hogy a kontroll területeken is hasonló tendencia figyelhető meg. A különféle kárformák hasonlóak a kontroll és a projekt területén álló égerek esetében, de a projekt területén lévő égerekben három kárforma is jelentkezett, amit a kontroll területek esetében nem észleltünk. Ennek oka a projekt területén lévő parcellák nagyobb számából, másrészt a mikroklímatis viszonyok eltéréseiből adódott. 2016 tavaszán, április 26-án $-2,9\text{ °C}$ minimum hőmérsékletet mért az állomás, amelynek eredményeként a mélyebb fekvésű projekt parcellákban jelentkezett kisebb mértékű lombkárosodás a lombfakadás idején, ugyanakkor a kontroll területek kevésbé fagyzugos parcelláin nem észleltünk fagykárokat. A projekt területén e mellett levél- és kéreggomba okozta károkat is észleltünk. A levélen a tüneteket az *Asteroma alneum* (Pers. ex Fr.) Sutton (1980) levélgomba okozta, de csak két egymást követő évben (2014–2015), majd ezt követően nem jelentkezett ez a kárforma. Ezzel szemben a fitofórás kéregfoltosodás *Phytophthora alni* Brasier & S. A. Kirk (2004) tünete folyamatosan jelen van az állományokban. A fitofórás fertőzés elsődleges tünetei a fa törzsén jelennek meg sötétbarna, fekete kátrányfoltok formájában a kéreg felületén.

A lomb-rágás okozta levélvesztés a kárformákon belül a legjelentősebb hányadot képviseli. Évről évre a kárformák 60–80%-át ez teszi ki. Túlnyomó része, az égerek leggyakoribb lombfogyasztója, a kék égerlevelész (*Agelastica alni* Linnaeus, 1758) rágása miatt következett be. A tünetek az egész vegetációs időszak folyamán jelen vannak, mivel az álcák és a kifejlett bogár is fogyasztja a leveleket.



6. ábra: A kárformák előfordulási gyakorisága égeren 2014–2019 között
Figure 6: Frequency of damage forms on Common alder, 2014–2019



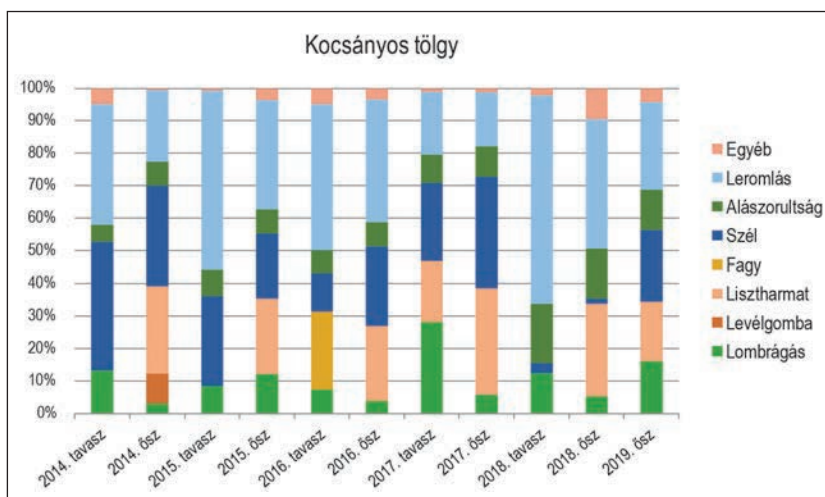
7. ábra: Kárformák előfordulási gyakorisága az éger kontroll területeken 2014–2019 között
Figure 7: Frequency of damage forms in control areas of Common alder – control, 2014–2019

Tölgyek esetében a leromlásos tünetek fordulnak elő legnagyobb arányban, 40–60%-os gyakorisággal. A projekt területén 2015–2016-ban figyeltük meg ennek a kárformának jelentősebb előfordulását, majd 2017-ben – az egyéb kárformák nagyobb mértékű megjelenése miatt – az összes kárformán belül aránya kissé csökkent, majd 2018 tavaszán ismét a legjelentősebb kárforma volt (8–9. ábra). A leromlásos tüneteket jelenlegi ismereteink szerint elsődlegesen a szárazodás illetve az aszályosság idézi elő (Csóka et al 2009), így jelentősége kiemelt a projekt szempontjából. Ugyanakkor a kaszói vizsgálati eredmények nem támasztják alá egyértelműen ezt a megállapítást, bár megítélésünk szerint ebben szerepe lehet a vizsgálati időszak relatív rövidségének.

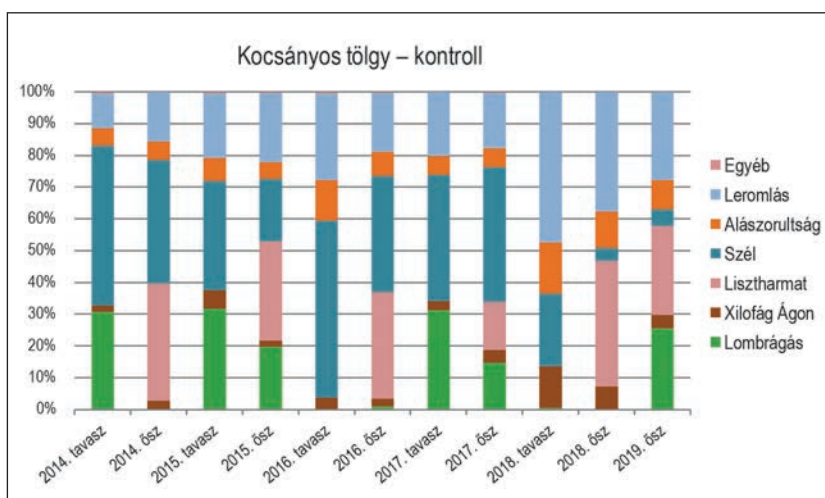
A kárformák között évről évre ugyancsak jelentős szerepet játszik a szél okozta lombvesztés és vékonyág károsodás, ami az egyre gyakoribb és hevesebb viharoknak köszönhető (Részletes adatokat lásd fentebb).

2016-ban a tölgyeken is észleltünk tavaszi fagykáros tüneteket, de ezek nyomait az őszi felvételezések során már nem lehetett regisztrálni. A tölgyeken még évről évre kiemelt szerepet játszik a tölgylisztharmat gomba (*Erysiphe alphitoides* (Griffon & Maubl.) U. Braun & S. Takam. 2000) fertőzése.

A vizsgált években a lombrágás csak kisebb arányban jelentkezett az állományokban. A projekt területén és a kontroll parcellákban hasonló jellegű és mértékű károsodások jelentkeztek, bár éppen a leromlásos tünetek terén mutatkozott kisebb eltérés. Míg a kontroll parcellákban ennek aránya az őszi felvételezések szerint évről évre szinte állandó, addig a projekt területén lévő állományokban 2015–2016-ban magas arányban fordult elő ez a kárforma, míg 2017-ben előfordulási gyakorisága csökkent, de 2018-ra újra meghatározóvá vált (7–8. ábra). A kontroll területeken évről évre jelen van a kétsávós díszbogár (*Coraebus florentinus* Herbst. 1801) fertőzés, amely elsősorban a koronák felső részén jelentkezik.



8. ábra: Kárformák előfordulási gyakorisága kocsányos tölgyön 2014–2019 között
 Figure 8: Frequency of damage forms on Pedunculate oak, 2014–2019



9. ábra: Kárformák előfordulási gyakorisága kocsányos tölgy – kontroll 2014–2019 között
 Figure 9: Frequency of damage forms on Pedunculate oak – control, 2014–2019



A lombkárók között kell megemlíteni a tölgy-csipkésposloska (*Corythucha arcuata* Say, 1832) levélfonákon történő szivogatása következtében fellépő klorofill-hiányos elszíneződést. Az inváziós rovar Somogy megyében 2017-ben találták meg (Paulin et al 2020), míg felvételeink során 2018-ban azonosítottuk először a rovar szórványos jelenlétét a mintaterületeken, illetve a kaszói erdőtömbben. 2019-ben már sokfelé észleltük a károkat, bár ezek többsége moderált volt. A 2020-as felvételeink során már széles körben jelen volt a károsító, tünetei gyakran kifejezetten erősnek tűntek, a koronák kifakulása, elszíneződése alapján. Mindössze három év elegendő volt a posloska tömeges elterjedéséhez a térségben. (A 2020. évi felvételek adatai feldolgozás alatt vannak, a posloskára vonatkozó megfigyelések előzetes adatnak tekintendők)

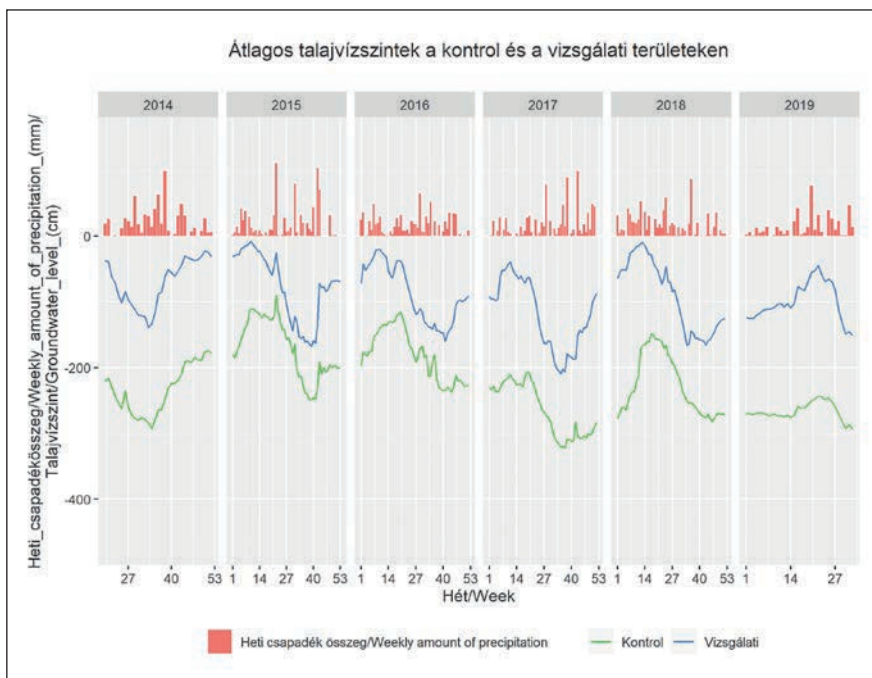
Csapadék és talajvíz

Az egészségi állapot vizsgálatok mellett a projekt teljes időtartama alatt, majd azt követően is folyamatos a csapadék és talajvíz adatok gyűjtése. A csapadék és talajvíz szintjének elemzését 2014–2017 közötti időszakra vonatkozóan Eötvös & Horváth (2018) végezte el. 2018-ig a talajvízszint süllyedése figyelhető meg mind a projekt területen, mind a kontroll mintavételi pontokon. Ugyanakkor a területen végzett beavatkozások hatására a talajvízszint süllyedés mérséklődött. A csapadék mennyiségében és eloszlásában nem figyelhető meg változás a sokéves átlaghoz képest, azonban az egyes esőzések intenzitása a klímaváltozás következtében egyre fokozódik, így a talajba szivárgás lehetősége csökken. (Eötvös & Horváth 2018). A 2018–2019. évi adatokkal kiegészítve a korábbi adatsorokat, megállapítható, hogy a heti csapadékösszegek és az átlagos talajvízszintek a kontroll és a vizsgálati területeken a vízviszatarató műtárgyak elkészülte után, a projekt terület talajvízszintje a kontroll területekhez képest egy magasabb szinten stabilizálódott. Nagyobb mennyiségű csapadékok után, jelentősebb mértékben és hosszabb időre emelkedik a talajvízszint a projekt területen, mint a kontroll területeken, ami azt mutatja, hogy a vízviszataratás sikeres. Ugyanakkor mindkét területen csökkenő trendet lehet megfigyelni a talajvízszint esetében, azonban a projekt területén ez a csökkenés jóval kisebb mértékű (10. ábra).

A projekt keretében végzett évgyűrűvizsgálatok és a talajvízszint észlelési adatainak összevetése hasonló összefüggést tárt fel. Az évgyűrű növekedési mérések szerint a kedvező folyamatok már észlelhetőek a vizsgált éger és tölgy állományokban. Bár a vízviszataratást szolgáló beavatkozásokkal érintett projekt területen 2017-ben az éger állományok esetében is észleltek évgyűrű méretbeli csökkenést, de jelentősen kisebb mértékűt, mint a kontroll területek állományaiban, holott az azt megelőző években fordított volt a helyzet (Garamszegi et al 2018).

ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiekben bemutatott vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a vízviszataratás kedvező hatásai megjelentek a kaszói erdőtömbben, de ezek tendenciózus változása egyelőre nem igazolható egyértelműen. Az egészségi állapotra vonatkozó megállapítások egy hosszabb távú folyamat kezdeti eredményeinek tekinthetők. A víz és az erdő egészségi állapotának viszonya egy rendkívül összetett, soktényezős rendszer, amelynek folyamatait, a befolyásoló tényezőket és a változások irányát csak hosszabbtávú megfigyelések révén lehet megismerni, megérteni. Amennyiben kellő információval rendelkezünk a rendszer elemeire vonatkozóan, úgy képesek lehetünk a klímaváltozásból adódó anomáliákat, negatív folyamatokat korrigálni, vagy legalább-is kedvezőtlen hatásait csökkenteni. Ehhez azonban további vizsgálat és megfigyelés szükséges, amelyhez megteremtettük az első lépéseket a projekt megvalósításával. A vizsgálatok folytatása, a projekt hosszútávú utókövetése, lehetőséget teremt az összefüggések pontosabb feltárására.



10. ábra: A csapadék és talajvízszint változásai a projekt és a kontroll területeken 2014–2019 között
 Figure 10: Changes in precipitation and groundwater levels in the project and control areas, 2014–2019

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a „KASZÓ-LIFE” Projekt, 2014–2018. (LIFE12 NAT/HU/000593) támogatásával valósult meg. A program befejezését követően, 2019-től a KASZÓ Zrt. és a NAIK ERTI finanszírozásával folytatódnak a kutatások.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Barcza Z., Bartholy J., Mészáros R., Pongrácz R., & Radics K. 2011: Globális és európai tendenciák. In: Bartholy J., Bozó L. & Haszpra J. (eds): KLÍMAVÁLTOZÁS – 2011 Klímaszcenáriók a Kárpát-medencetérsgére. MTA és az ELTE Meteorológiai Tanszéke, Budapest, 99–144.
- Bartholy J., Pongrácz R. & Gelybó Gy. 2007: Regional climate change expected in Hungary for 2071–2100. Applied Ecology and Environmental Research 5(1): 1–17. DOI: 10.15666/aeer/0501_001017
- Borovics A. 2018: A jövő már elkezdődött. A klímaváltozáshoz alkalmazkodó erdőgazdálkodás kihívásai – VIII. Erdészeti Lapok CLIII. évf.1: 2–5.
- Csóka Gy., Koltay A., Hirka A. & Janik G. 2009: Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyeseink és bükköseink egészségi állapotára. Klíma-21 füzetek 57: 64–73
- Eichhorn J., Roskams P., Potočić N., Timmermann V., Ferretti M., Mues V., Szepesi A., Durrant D., Seletković I., Schröck H.W., Nevalainen S., Bussotti F., Garcia P. & Wulff S. 2016: Part IV: Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents. In: UNECE ICP Forests Programme Coordinating Centre (ed): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 49. + Annex [<http://www.icp-forests.org/manual.htm>].



- Eötvös Cs. B. & Horváth L. 2018: A Szentai-erdő talajvízszint változásai a Kaszó-Life projekt hatására. Erdészettudományi Közlemények 8(2): 17–23. DOI: 10.17164/EK.2018.018
- Führer E. 2018: A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 27–42. DOI: 10.17164/EK.2018.002
- Garamszegi B., Nagy-Khella M., Farkas M. & Nagy L. 2018: Az időjárási viszonyok hatása mézgás éger és kocsányos tölgy állományok növekedésére talajvízháztartás javítását célzó beavatkozások mellett. Erdészettudományi Közlemények 8(2): 9–16. DOI: 10.17164/EK.2018.017
- Gálos B. & Führer E. 2018: A klíma erdészeti célú előrevetítése. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 43–55. DOI: 10.17164/EK.2018.003
- Lakatos M. & Bihari Z. 2011: A közelmúlt megfigyelt hőmérsékleti és csapadéktendenciái. In: Bartholy J., Bozó L. & Haszpra L. (eds): Klímaváltozás – 2011, Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. MTA-ELTE, Meteorológia Tanszék, Budapest, 146–169.
- Michel A., Prescher A-K. & Schwärzel K. 2019: Forest Condition in Europe: 2019 Technical Report of ICP Forests. Report under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Air Convention). BFW-Dokumentation 27/2019. Vienna: BFW Austrian Research Centre for Forests. 104.
- Majer J., Bordács M. & Borhidi A. 2002: A Baláta-tó vízminőségének alapállapot felvételezése. Somogyi Múzeumok Közleményei 15: 97–106.
- Nagy J. & Nagy E. D. 2012: Kaszó 600 éve, tényekben, anekdotákban és képekben. Kaszó Zrt. Kaszó, ZPress Bt. – Berzence.
- Paulin M., Hirka A., Mikó Á., Tenorio-B. I., Eötvös Cs., Gáspár Cs. & Csóka Gy. 2020: A tölgy-csipkésposloska Magyarországon – Helyzetkép 2019 őszén. Növényvédelem 81(6): 245–250.
- Somogyi Z. 2018: A klímaváltozás miatti fapusztlás tovább gyorsíthatja a klímaváltozást. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 213–228. DOI: 10.17164/EK.2018.013
- Tóth J. 2003: Erdővédelmi mérőháló a HM Kaszó Erdőgazdaság területén. ERTI Jelentés, Erdővédelmi Osztály.

Érkezett: 2020. szeptember 17.

Közlésre elfogadva: 2020. október 15.

A ROTH-FÉLE SZÁLALÓ ERDŐ ARACHNOLÓGIAI VIZSGÁLATA

Bali László¹, Tuba Katalin¹ és Szinetár Csaba²

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar

²ELTE Savaria Egyetemi Központ, Biológia Tanszék

Kivonat

Kutatásunk során a Roth-féle szálaló erdő (Sopron 182B) talajfelszíni pókfaunáját vizsgáltuk talajcspadázással, a 2020-as évben, április és július hónapok között. A vizsgálati terület öt, egymástól állományszerkezetében jól elkülöníthető foltjáról (nyílt élőhely [lék], rudas-, szálas-, lábas- és fenyőelegyes állományok), valamint három, az erdőrészzel határos kontrollterületről gyűjtöttünk adatokat, beleértve állományszerkezeti vizsgálatok végzését is. A felmérés során összesen 21 család 69 fajának 3515 egyedét csapdáztuk. A legnagyobb fajszerű családnak a Vitorláspókfélék (*Linyphiidae*) bizonyultak. A legnagyobb egyedszámban pedig a sárgafoltos gyászfarkaspókot (*Pardosa alacris*) gyűjtöttük. A vizsgált pókegyüttesek viszonylag magas fajdiverzitást mutattak. Az egyes élőhelyek közösségei mind vadászati stratégiák, mind a hasonlósági indexek alapján valamelyest elkülönültek egymástól, ugyanakkor szignifikáns különbség nem volt felfedezhető közöttük. Összeségében a Roth-féle szálaló erdő talajfelszín-közeli pókközössége gazdagabbnak mutatkozott a szomszédos kontrollterületekénél.

Kulcsszavak: Araneae, pók, talajcspadázás, Sopron 182B

ARACHNOLOGICAL SURVEY OF THE ROTH SELECTION FOREST

Abstract

During our research, we surveyed the ground-dwelling spider fauna of the Roth selection forest (Sopron 182B) between April and July of 2020. Five distinct parts of the forest were investigated: pole stand (R, d=10–20 cm), high forests (Sz, d=20–50 cm), older high forests (L, d>50 cm), open/gap habitat (Ny) and stand mixed with spruce (F) patch, with the addition of three control (K) trappings. We also conducted stand structural surveys. We collected 3,515 specimens of 69 species belonging to 21 families. *Linyphiidae* was the most species-rich family, while *Pardosa alacris* was the most abundant species. Diversity of the spider community was relatively high. Both the guild structure and the similarity indices showed disparities between the studied sites, however, there were no significant differences. To sum up, the ground-dwelling spider community of the Roth selection forest proved to be somewhat richer than that of the control sites.

Keywords: Araneae, spider, pitfall trapping, Sopron 182B

BEVEZETÉS

A folyamatos erdőborítást biztosító szemlélet szerinti gazdálkodás főbb vezérelvei közül kiemelt fontosságú a természetes erdőkben lejátszódó folyamatok követése, szimulálása (Runkle 1982, Coates & Burton 1997, Mitchell et al 2002, Hix et al 2011). Az erdészeti gyakorlatban e követelményeknek leginkább az örökerdő üzem-mód felel meg, aminek lényege, hogy alkalmazásával „az erdőgazdálkodás során az erdőben erdőfelújítási kötelezettséget keletkeztető véghasználati fakitermelés nem történik, az erdő faállománya az örökerdő fenntartási tervben foglaltaknak megfelelően alakul, annak összetétele, kor- és térbeli szerkezete változatos, és ezzel megvalósul a folyamatos erdőborítás” (Web 1). Az örökerdő állapotot rendszerint ökológiai és társadalmi szempontból, de gyakran a faanyagnyerés szemszögéből is előnyösnek tartják. Ugyanakkor az ilyen szerkezetű erdőkben a konvencionálisan használt faállomány-szerkezeti jellemzők értelmüket veszítik, a különböző korosztályokra jellemző paraméterek egy erdőrészleten belül egyszerre fordulnak elő (Molnár 2017).

A folyamatos erdőborítás elérésére törekvő hazai kísérletek több évtizedes múltra tekintenek vissza (Roth 1953, Madas 1956). Az e közlemény tárgyát is képező Sopron 182B erdőrészletben zajló kísérletet Roth Gyula kezdte meg a 'vonalas szálalás' gyakorlati megvalósításának céljával. Az eljárás lényege, hogy a felújítás rendjét az adott terület terepviszonyaihoz igazodó támadóvonalak határozzák meg. Az állományok bontása e vonalakban kezdődik, majd azokból kiindulva halad félkör irányban (Roth 1953, 1958). Ez Magyarország egyik legrégebben zajló folytonos erdészeti kísérlete. Ebből kifolyólag a konkrét erdőrészlethez több korábbi vizsgálat is köthető (Palotay 1965, Majer 1986, Bartha 2001, Molnár et al 2014, Molnár 2017).

Ennek ellenére mind maga a terület, mind a szálaló-vágásos erdőgazdálkodás faunisztikai vonatkozásai mindmáig kevésbé kutatottak. Igaz ez a pókokra is, pedig azok, mint abundáns generalista ragadozó szervezetek, az erdei ökoszisztémák fontos részét képezik (Wise 1993). Vizsgálatuk azért is indokolt, mivel érzékenyen reagálnak a környezeti paraméterek és a vegetációs szerkezet változásaira (Wise 1993, Maelfait & Hendrickx 1998, Cardoso et al 2004, Scott et al 2006, Horváth et al 2009), így kiváló indikátor szervezeteknek tekinthetők (Kremen et al 1993, Elek et al 2016, 2018). Mindezek mellett ökológiai szempontból jól értelmezhető az előfordulásuk, egyszerűen vizsgálhatók, továbbá költséghatékonyan és jól ismételtetően gyűjthetők (Ferris et al 2000).

A Soproni-hegység arachnológiai vizsgálatai néhány korai munkát leszámítva, csak a közelmúltban indulnak újra. A terület kutatástörténeti áttekintésével, a 19. és 20. század során végzett vizsgálatok faunalistájával, valamint a 2017-től végzett vizsgálatok eredményeivel három közlemény és egy diplomamunka foglalkozik (Szinetár & Kovács 2019, Kiss 2019, Bali et al 2019, Szinetár et al 2020). A közelmúltbeli vizsgálatok eredményei jól rávilágítottak a hegység magasabb régióinak hiányos kutatottságára és a vizsgálatok folytatásának indokoltságára. Különösen értékesnek bizonyultak az idősebb korú bükkösök, valamint égerligetek, ahonnan több faunára új faj előfordulása is ismertté vált (Bali et al 2019, Szinetár et al 2020).

Választásunk tehát a fentiek miatt esett a talajfelszín-közeli pókok vizsgálatára, amelynek fő céljai a következők voltak:

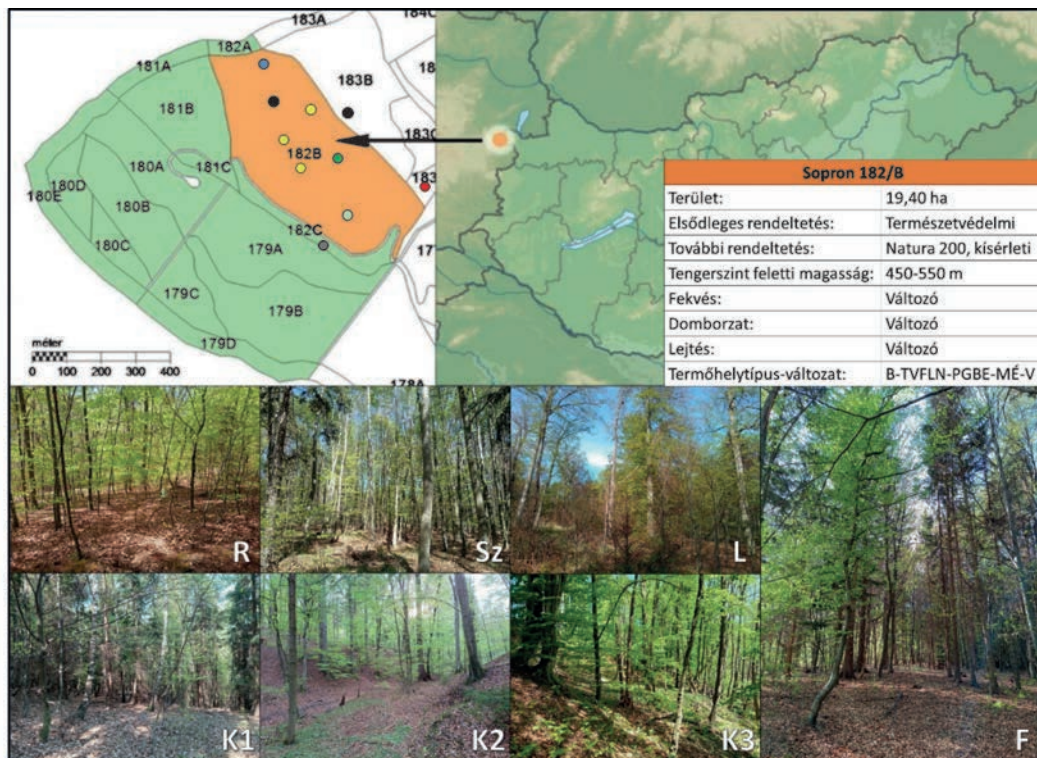
- A Roth-féle szálaló erdő talajfelszín-közeli pókközösségének faunisztikai elemzése.
- Az eltérő állományfoltok közösségeinek összehasonlítása.
- A szálaló gazdálkodás pókközösségre kifejtett esetleges hatásainak feltárása.

ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

A Roth-féle szálaló erdő (Sopron 182B) a Nyugat-Dunántúl erdészeti tájon belül a Soproni-hegység területén helyezkedik el (Halász 2006). A közeli Alpok klimatikus hatásának következtében a hegység kimondottan hűvös, csapadékos éghajlatú. A változatos domborzati viszonyoknak köszönhetően a kitétségek is jelentős mezoklíma alakító tényező. A leggyakoribb szélirány az ÉNY-i (Dövényi 2010). Az átlagos éves csapadékosz-

szeg 750 mm körül alakul; az évi középhőmérséklet 9,2 °C, a tenyészidőszaki pedig 15,4 °C (Halász 2006). A Soproni-hegység a Keleti-Alpok flóraidékéhez (*Noricum*), azon belül pedig a *Ceticum* flórajárásába tartozik (Borhidi 2007). A hegység potenciális erdőterület, klímaregionális vegetációtípusai az üde lomberdők (Király et al 2004, Király 2008).

A vizsgált erdőrészlet a Hidegvíz-völgy felső szakaszán, a Magyarország-Ausztria országhatár közvetlen szomszédságában található (1. ábra). Állományának ~ 77%-a bükk, míg második leggyakoribb fajafa a lucfenyő (~ 9%). Környezetét többségében bükk főfafajú állományok alkotják, de közelében jelentős a nyír aránya, továbbá környékén található hazánk erdeinek legtermetesebb lucfenyő egyedei is. Területén utoljára 1867-ben volt tarvágás (Molnár 2017). Általános adatai az 1. ábrán olvashatók.



1. ábra: A Roth-féle száraló erdő (narancssárga, térkép: Molnár 2017), a részlet alapadatai, valamint a csapdázási helyek (világos zöld, R – rudas; zöld, Sz – szálás; sötétzöld, L – lábás; kék, F – fenyő elegyes; fekete, K1 – kontroll 1; szürke, K2 – kontroll 2; piros, K3 – kontroll 3; sárga – nyílt)

Figure 1: The Roth selection forest (orange, map: Molnár 2017), the data of the subcompartment and the trapping sites (light green, R – pole stand; green, Sz – high forest; dark green, L – older high forest; blue, F – stand mixed with spruce; black, K1 – control 1; grey, K2 – control 2; red, K3 – control 3; yellow – gap)

Mivel a kísérleti terület – jellegéből adódóan – faállomány-szerkezeti szempontból inhomogén, a vágásos üzem módban kezelt területekkel való összehasonlíthatóság érdekében az erdőrészleten belül olyan állományfoltok kerültek csapdázásra, amelyek többé-kevésbé megfeleltethetők bizonyos faállományfejlődési szakaszoknak. Ezek a kategóriák a következők voltak: rudas (R, d=10–20 cm), szálás (Sz, d=20–50 cm), lábás (L, d > 50 cm) (Kolozsár 2010). Emellett indokoltnak tartottuk még nyílt (Ny) és fenyőelegyes (F) (ahol a lucfenyő elegyaránya elérte a 36%-ot), valamint a részlettel határos kontroll (K1-3) területek csapdázását is (1. ábra).



A mintagyűjtéshez Barber-féle duplaedényes talajcspadákat használtunk (Barber 1931). A csapdákat védőtetővel láttuk el, ölt-, illetve konzerválószerként 2 dl, 10 tf%-os ecetsavat alkalmaztunk (Woodcock 2005, Kádár & Samu 2006).

A csapdák kihelyezése 2020.04.16-án történt; minden foltban hármassal ismétléssel, egymástól 5 m-re. Ez alól kivételt képeznek a nyílt élőhelyekre kerülő csapdák. Három csapdát befogadni képes méretű lék hiányában ezek három különböző lékbe kerültek telepítésre (1. ábra). Így összesen 24 csapda kihelyezésére került sor. Ürítésük a 2020-as vegetációs időszak során, áprilistól júliusig, összesen 13 alkalommal, egy hetes rendszerességgel zajlott. A csapdák összesen 90 napig voltak használatban.

A csapdák 5 m-es körzetében felvételezésre kerültek az alábbi biotikus tényezők is: holtfa törmelék-, moha-, avar-, lágyszárú borítás és a lombkoronazáródása %-ban; az 5 cm-nél vastagabb faegyedek átmérője és faja; valamint a fekvő holtfa átmérője és számossága (1. táblázat). Ez utóbbinál az Ódor-féle módszer (Ódor 2005) általunk adaptált változatát használtuk.

1. táblázat: A felvett biotikus tényezők értékei mintaterületekként (Ny – nyílt/lék; R – rudas; Sz – szálas; L – lábas; F – fenyő elegyes; K1 – kontroll 1; K2 – kontroll 2; K3 – kontroll 3)

Table 1: Values of surveyed biotic factors (Ny – open/gap; R – pole stand; Sz – high forest; L – older high forest; F – stand mixed with spruce; K1 – control 1; K2 – control 2; K3 – control 3)

	Ny	R	Sz	L	F	K1	K2	K3
Avar [%]	78,33	78,33	83,33	81,67	75,00	86,67	55,00	33,33
Moha [%]	3,33	3,33	1,67	1,67	3,33	1,67	0,00	3,33
Lágyszárú [%]	36,67	63,33	8,33	28,33	31,67	5,00	18,33	48,33
Cserje [%]	28,33	31,67	0,00	20,00	31,67	5,00	18,33	18,33
Záródás [%]	68,33	46,67	90,00	68,33	56,67	90,00	78,33	68,33
Σ Holtfa [cm ²]	69,5	10,0	41,0	212,0	84,5	69,5	95,0	247,0
Holtfa db	8	2	4	11	9	9	6	13
Törmelék [%]	11,67	6,67	20,00	26,67	13,33	16,67	10,00	21,67
Fa egyed	21	33	50	26	24	63	13	14
Fafaj	3	2	1	2	3	4	4	5
Átlagátmérő [cm]	36	14	20	27	27	16	23	29

Az általunk kijelölt mintaterületek közül a teoretikus faállományfejlődési szakaszoktól leginkább a lábas állományrész tért el (az átlagos átmérő 27 cm volt az elméletileg minimális 50 cm helyett). Ennek oka, hogy bár a területen álló idős faegyedek átmérője meghaladta az 50 cm-t (a legvastagabb egyed 90 cm volt), azok állománysűrűsége – a száralás jellegéből adódóan – alacsony volt, és köztük fiatalabb és ebből kifolyólag vékonyabb egyedek is előfordultak. Hasonló az oka annak, hogy a nyílt élőhelyeken mért átlagátmérő viszonylag magas volt: ezek olyan lékek voltak, amelyeket idősebb állományból 1–1 faegyed kivágásával alakítottak ki, így az itt lévő csapdák 5 m-es körzetébe idősebb, vastagabb fák is kerülhettek.

Kiértékelési módszerek

A pókfajok gyakoriságának jellemzéséhez Palmgren & Lönnqvist (1974), valamint Szinetár et al (2006) által alkalmazott dominancia-kategóriákat használtuk, amelyek az alábbiak voltak: 0,2%-ig ritka, 0,2–0,5% között szórványos, 0,5–2% között gyakori, 2–5% között szubdomináns, 5% felett pedig domináns. A 10% feletti gyakoriság esetén a szuperdomináns kategóriát alkalmaztuk. A vadászati stratégiák elemzése során Loksa (1969), valamint Cardoso et al (2011) munkáit vettük alapul; továbbá a következő kategóriákat használtuk: hálóval vadászók (hurokháló – HH, tölcsérháló – TH, vitorlaháló – VH, kerekháló – KH és egyéb hálószövők – EH), valamint háló nélkül vadászók (lesből támadók – LT, talajfelszínen vadászók TV, specialisták – SP és egyéb vadászók – EV).

A pókközösségek szerkezetét a Simpson diverzitási index (Simpson 1949) segítségével értékeltük. Ez a közösségi ökológiai vizsgálatok során egyik leggyakrabban alkalmazott diverzitás index (Beck & Schwanghart 2010), ami nem érzékeny az alacsony mintaszámra (Lande 1996, Beck & Schwanghart 2010). Annak megállapításához, hogy az egyes minták között van-e szignifikáns különbség, azok faj abundancia adatait t-próbával is összehasonlítottuk. Az eltéréseket $p < 0,05$ érték esetén tekintettük szignifikánsnak. Az egyes csapdák és élőhelyrészek fajegyüttese közötti hasonlóságok megállapításához Renkonen hasonlósági indexek számítását (Renkonen 1938), továbbá Bray-Curtis indexen (Bray & Curtis 1957) alapuló ordinációs vizsgálatot végeztünk, aminek módszere nem-metrikus többdimenziós skálázás (N-MDS) volt. Ennek során minden csapdát összehasonlítottunk minden csapdával. Végrehajtottunk továbbá egy kanonikus korrespondencia analízist (CCA) a magas dominancia értékkel (min. 5,0) rendelkező fajok és a vadászati stratégiák, valamint a vizsgált biotikus tényezők bevonásával. Végül a felmért ökológiai tényezők, a vadászati stratégiák, a fajszám és az egyedszám bevonásával lineáris korreláció analízist is végeztünk, ahol szintén a $p < 0,05$ értékeket tekintettük szignifikánsnak.

EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Az adatgyűjtés során összesen 3515 egyed került befogásra. Ezek közül 21 család 69 fajának 2964 egyedét sikerült faji szinten meghatározni. Az átlagos fogás 1,63 egyed/csapda/nap és 0,03 faj/csapda/nap volt. A legtöbb egyed (1064) a lékekből (Ny), míg a legkevesebb (203) a rudas (R) élőhelyről került begyűjtésre. A legmagasabb fajszám (42) szintén a lékekben (Ny), a legalacsonyabb (22) pedig a fenyőelegyes (F) élőhelyen volt tapasztalható. A legnagyobb fajszámú család a vitorlaspókoké (*Linyphiidae*) volt, összesen 27 fajjal. A legnagyobb egyedszámú család a sárgafoltos gyászfarkaspók (*Pardosa alacris* (C. L. Koch, 1833)) volt jelen, összesen 1125 egyeddel, így szuperdominánsnak bizonyult. Ez a faj a magyarországi erdők leggyakoribb pókfaja. Az erdőtől csak minimálisan távolodik el (Loksa 1972), a talajfelszínen lévő avar és részleges árnyékolás szükséges számára. Kerüli a szélsőségesen száraz, meleg és nyílt élőhelyeket (Szinetár 2006). A teljes mintavétel másik szuperdomináns faja a *Histopona torpida* (C. L. Koch, 1837), az egyetlen domináns faja pedig a *Tenuiphantes flavipes* (Blackwall, 1854) volt (2. táblázat). Előbbi – zugpókokra jellemzően – főleg kövek és fák alatti zugokban él, valamint a száraz/részlegesen humid és a részlegesen árnyékolt élőhelyeket kedveli. Utóbbi pedig nyílt és részlegesen árnyékolt, valamint száraz és félnedves területeken egyaránt előfordul (Nentwig et al 2020).

A farkaspókok nagy egyedszáma magyarázható azzal, hogy ezek az állatok egy nap alatt több tíz méteres távolságot tudnak megtenni (Greenstone 1979, Kiss & Samu 2000), így rövid idő alatt képesek a habitatok, mikrohabitatok között vándorolni. Tehetik ezt táplálékszerzés céljából, vagy, hogy az abiotikus tényezőkben bekövetkező változásokat kompenzálják. A hímek esetében tapasztalt magas fogási értékeket a szaporodási időszakra jellemző párkeresésével viselkedés megnövekedett mozgásaktivitása okozza.

A 2. táblázat (folytatás)

Table 2. (cont.)

Taxa	Ny	R	Sz	L	F	K1	K2	K3	D
<i>Saloca dicerus</i> (O. Pickard-Cambridge, 1871)	0	0	0	0	0	0	0	3	0,09
<i>Styloctetor compar</i> (Westring, 1861)	0	0	0	0	0	1	1	0	0,06
<i>Tapinocyba pallens</i> (O. Pickard-Cambridge, 1873)	0	4	0	1	0	0	2	0	0,20
<i>Tenuiphantes flavipes</i> (Blackwall, 1854)	33	33	38	15	22	42	14	13	5,97
<i>Tenuiphantes tenebricola</i> (Wider, 1834)	0	1	0	1	3	7	5	1	0,51
<i>Trichoncus affinis</i> (Kulczyński, 1894)	11	0	0	3	0	0	0	0	0,40
<i>Troglohyphantes noricus</i> (Thaler & Polenec, 1974)	0	0	2	0	0	0	1	0	0,09
<i>Walckenaeria antica</i> (Wider, 1834)	4	0	0	3	0	0	0	0	0,20
<i>Walckenaeria atrotibialis</i> (O. Pickard-Cambridge, 1878)	0	0	0	1	0	0	0	0	0,03
<i>Walckenaeria cucullata</i> (C. L. Koch, 1836)	0	0	0	0	0	1	1	1	0,09
<i>Walckenaeria mitrata</i> (Menge, 1868)	0	0	0	0	0	0	2	1	0,09
<i>Walckenaeria simplex</i> Chyzer, 1894	0	0	1	1	0	0	0	0	0,06
<i>Lycosidae</i> spp. juv.	167	0	26	90	0	0	14	20	–
<i>Aulonia albimana</i> (Walckenaer, 1805)	2	0	4	1	0	0	0	0	0,20
<i>Pardosa alacris</i> (C. L. Koch, 1833)	636	21	50	253	26	9	7	123	32,01
<i>Trochosa terricola</i> Thorell, 1856	31	4	1	17	0	4	4	3	1,82
<i>Pisaura mirabilis</i> (Clerck, 1757)	3	0	1	1	0	0	0	1	0,17
<i>Agelenidae</i> spp. juv.	1	3	14	3	16	1	4	5	–
<i>Agelena labyrinthica</i> (Clarck, 1757)	1	0	0	0	0	0	0	0	0,03
<i>Histopona torpida</i> (C. L. Koch, 1837)	8	42	109	84	147	113	92	99	19,74
<i>Inermocoelotes inermis</i> (L. Koch, 1855)	0	1	2	3	9	11	3	2	0,88
<i>Tegenaria ferruginea</i> (Panzer, 1804)	0	2	0	0	0	0	2	0	0,11
<i>Tegenaria silvestris</i> (L. Koch, 1872)	3	1	1	2	6	1	9	5	0,80
<i>Zodarion germanicum</i> (C. L. Koch, 1837)	25	0	0	7	0	0	0	1	0,94
<i>Cybaeus tetricus</i> (C. L. Koch, 1839)	1	0	1	1	0	1	1	2	0,20

A 2. táblázat (folytatás)

Table 2. (cont.)

Taxa	Ny	R	Sz	L	F	K1	K2	K3	D
<i>Amaurobidae</i> spp. juv.	1	0	0	0	2	0	0	0	–
<i>Amaurobius fenestralis</i> (Störm, 1768)	0	1	17	1	17	1	14	1	1,48
<i>Amaurobius jugorum</i> L. Koch, 1868	3	1	6	1	8	2	2	3	0,74
<i>Anyphaena accentuata</i> (Walckenaer, 1802)	0	0	0	0	0	0	0	1	0,03
<i>Micrommata virescens</i> (Clerck, 1757)	1	0	0	0	0	0	0	0	0,03
<i>Agrocera brunnea</i> (Blackwall, 1833)	3	0	0	1	0	0	0	0	0,11
<i>Apostenus fuscus</i> Westring, 1851	2	1	5	0	0	4	1	0	0,37
<i>Clubiona caerulescens</i> L. Koch, 1867	1	0	0	0	0	0	0	0	0,03
<i>Clubiona comata</i> C. L. Koch, 1839	0	4	0	0	2	1	0	0	0,20
<i>Clubiona terrestris</i> Westring, 1851	0	0	0	0	0	0	2	0	0,06
<i>Gnaphosidae</i> spp. juv.	9	2	2	0	1	1	2	1	–
<i>Drassylus villicus</i> (Thorell, 1875)	4	0	0	2	0	0	0	0	0,17
<i>Gnaphosa montana</i> (L. Koch, 1866)	1	0	0	0	0	0	0	0	0,03
<i>Haplodrassus silvestris</i> (Blackwall, 1833)	8	0	1	7	0	0	0	0	0,46
<i>Trachyzelotes pedestris</i> (C. L. Koch, 1837)	0	0	0	1	0	0	0	1	0,06
<i>Zoletes apricorum</i> (L. Koch, 1867)	9	0	0	0	0	0	1	3	0,37
<i>Zora nemoralis</i> (Blackwall, 1861)	3	0	1	8	0	0	0	0	0,34
<i>Zora spinimana</i> (Sundevall, 1833)	9	0	0	13	1	0	0	3	0,74
<i>Philodromus dispar</i> Walckenaer, 1826	0	0	1	0	1	0	0	0	0,06
<i>Philodromus margaritatus</i> (Clerck, 1757)	0	0	0	0	1	0	0	0	0,03
<i>Thomisidae</i> spp. juv.	0	0	0	0	1	1	0	0	–
<i>Xysticus cristatus</i> (Clerck, 1757)	0	0	0	0	1	0	0	0	0,03
<i>Xysticus gallicus</i> Simon, 1875	1	0	0	0	0	0	0	0	0,03
<i>Xysticus lanio</i> C. L. Koch, 1835	0	0	1	0	0	0	1	0	0,06
<i>Ballus chalybeius</i> (Walckenaer, 1802)	0	2	2	0	0	0	0	1	0,14

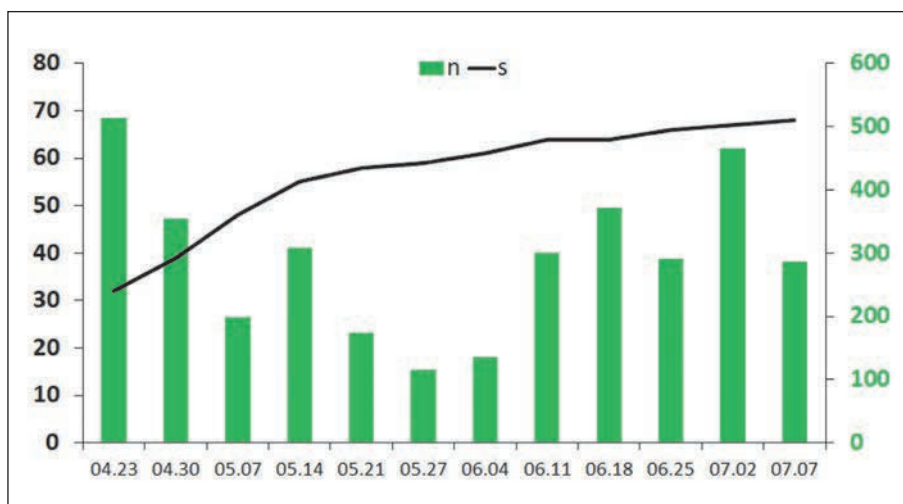
A 2. táblázat (folytatás)

Table 2. (cont.)

Taxa	Ny	R	Sz	L	F	K1	K2	K3	D
<i>Euophrys frontalis</i> (Walckenaer, 1802)	1	0	0	0	0	0	0	0	0,03
<i>Evarcha arcuata</i> (Clerck, 1757)	1	0	0	0	0	0	0	0	0,03
<i>Phrurolithus festivus</i> (C. L. Koch, 1835)	2	0	1	1	0	0	1	0	0,14
Nem határozható	0	1	0	0	0	1	0	0	–
Egyéb juvenilis	4	1	5	4	5	3	3	4	–
Összes egyedszám	1064	203	333	606	319	287	332	371	–
Egyed/nap/csapda	3,94	0,75	1,23	2,24	1,18	1,06	1,23	1,37	–
Összes fajszám	42	24	26	37	22	24	34	32	–
Faj/nap/csapda	0,16	0,09	0,10	0,14	0,08	0,09	0,13	0,12	–
Simpson diverzitás	0,47	0,86	0,78	0,71	0,70	0,78	0,83	0,77	–

Kiemelendők még a *Tapinocyba pallens* (7 egyed), *Troglohyphantes noricus* (3 egyed) és *Gnaphosa montana* (1 egyed) fajok, amelyeknek nem volt ismer hazai előfordulása. A környező országok faunalistái ismeretében, mindkét faj előkerülése várható volt hazánkban is (Nentwig et al 2020). A *Cybaeus tetricus* első hazai előfordulásait a Soproni-hegységet érintő közelmúltbeli kutatásaink során sikerült kimutatni (Bali et al 2019, Szinetár & Kovács 2019). E fajból ezúttal 7 példány került begyűjtésre.

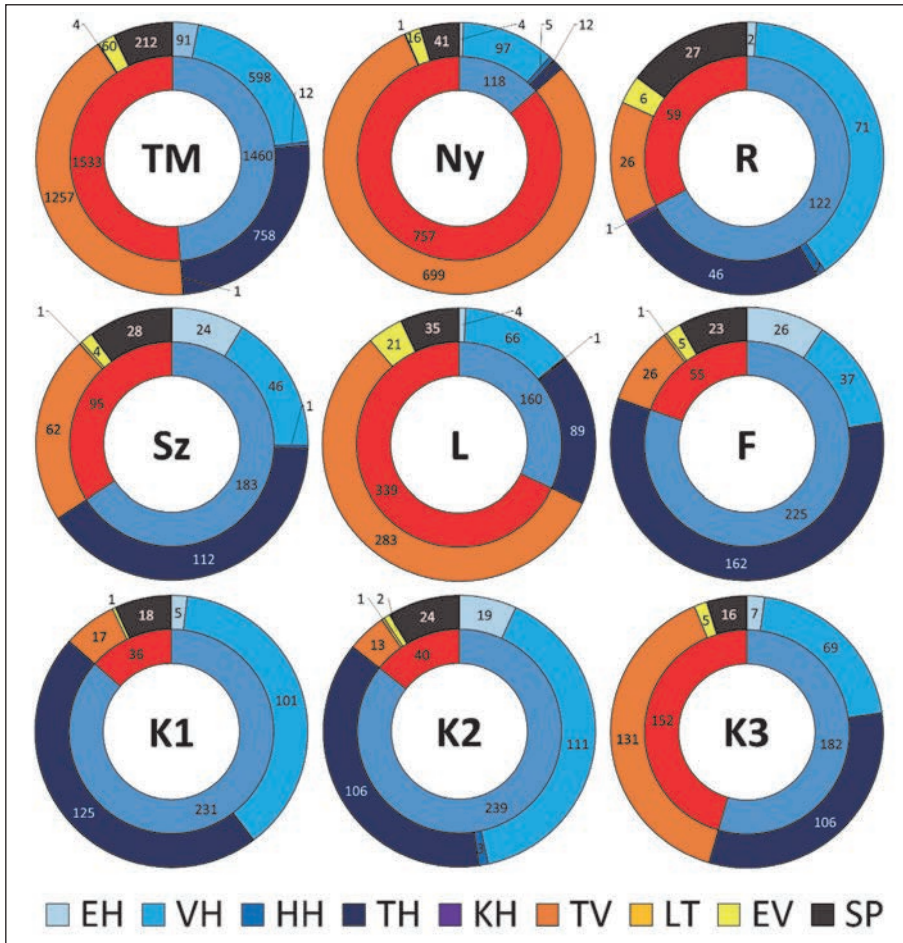
A korábbi más hazai erdőterületeken végzett vizsgálatainknál (Bali et al 2016, 2017, 2018, 2020) tapasztalattal ellentétben a közösség egyedszáma május–június hónapokban volt a legalacsonyabb, maximumát április közepén mutatta. E szokatlan jelenség oka lehet az időszakra nem jellemző hűvös és száraz időjárás. A fajtelítődési görbe alapján a közösség nem tekinthető teljesen feltártnak, bár ez a vizsgálatnak nem is volt célja (2. ábra).



2. ábra: Csapdázási eredmények (zöld, n – egyedszám), valamint fajtelítődési görbe (fekete, s – halmazott fajszám)

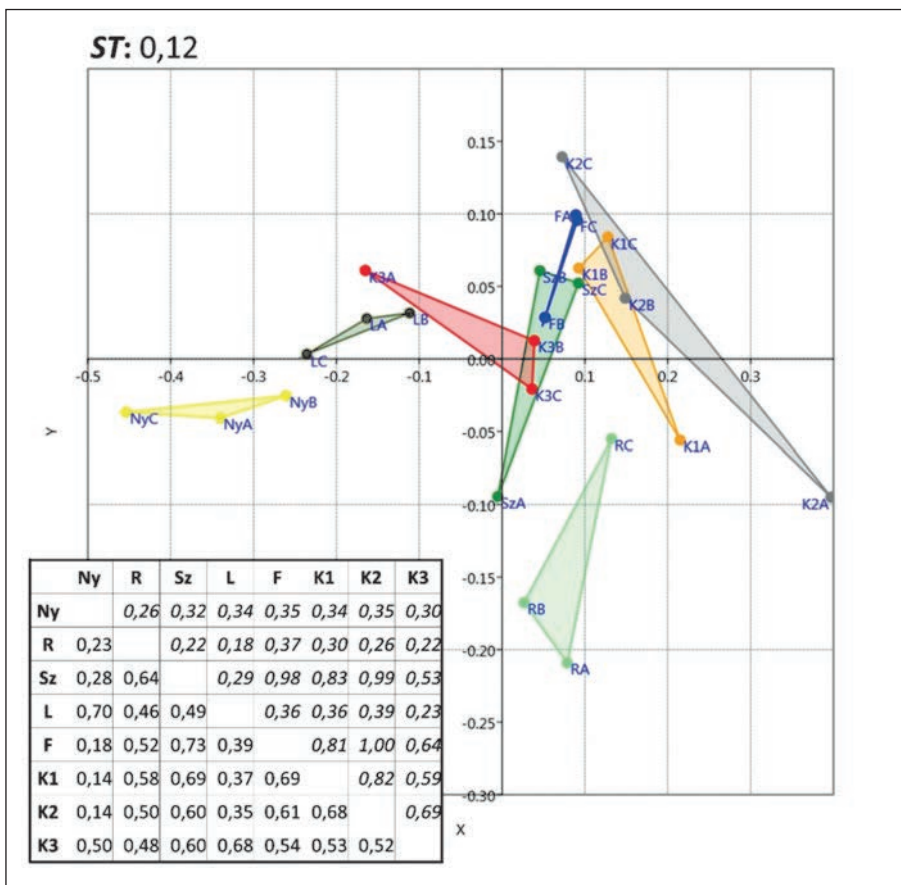
Figure 2: Trapping results (green, n – specimen number) and species saturation curve (black, s – cumulated species number)

A teljes csapdázott közösséget tekintve igen hasonló arányban voltak jelen a mintában a hálóval és a háló nélkül vadászó fajok egyedjei. Az egyes mintaterületek között ugyanakkor viszonylag nagy eltérések mutatkoznak. A vadászó pókok a legnagyobb arányban az alacsonyabb záródású területeken (Ny, L) voltak jelen, míg szinte mindenhol máshol a hálószővők domináltak. Közülük is a tölcser- és a vitorlahálós fajok voltak a leggyakoribbak (3. ábra). Ez talajcsapdával gyűjtött minták esetében meglepő eredménynek tűnhet, ugyanis ezek a csapdák az aktívan mozgó fajok esetében általában hatékonyabbnak bizonyulnak (Zou et al 2012, McCravy 2018). A hálóval vadászó pókokra pedig éppen a kiváráó és inkább stacionárius életmód jellemző. Az, hogy ezek mégis ilyen nagy arányban voltak megtalálhatóak a közösségben, estleg magyarázható a területen viszonylag nagy mennyiségben megtalálható holtfával, és/vagy az inhomogén állományszerkezettel.



3. ábra: Vadászati stratégiák egyedszám szerinti megoszlása (Kék színekkel a hálóval vadászók, piros színekkel a nem hálóval vadászók; VH – vitorlahálós, HH – hurokhálós, TH – tölcserhálós, KH – kerekháló, EH – egyéb hálóval vadászó, TV – talajfelszínén vadászó, LT – lesből támadó, SP – specialista, EV – egyéb stratégiával vadászó; TM – teljes minta; Ny – nyílt/lék; R – rudas; Sz – szás; L – lábas; F – fenyő elegyes; K1 – kontroll 1; K2 – kontroll 2; K3 – kontroll 3)

Figure 3: Guild structure by specimen numbers (blue colors are web builders, other colors are hunters; VH – sheet web, HH – space web, TH – funnel web, KH – orb web, EH – other web builders, TV – ground hunters, LT – ambushers, SP – specialists, EV – other hunters; TM – total sample; Ny – open/gap; R – pole stand; L – older high forest; F – stand mixed with spruce; K1 – control 1; K2 – control 2; K3 – control 3)



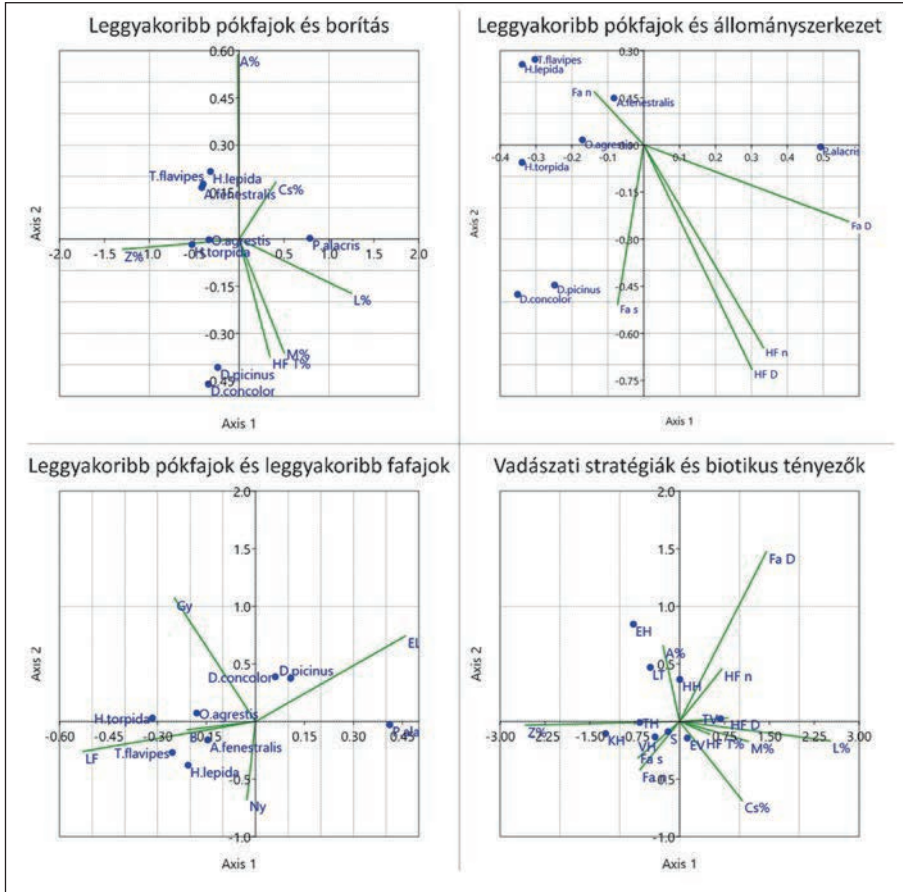
4. ábra: Hasonlósági vizsgálat – a minden csapdát tartalmazó, Bray-Curtis hasonlósági indexen alapuló ordinációs vizsgálat, a mintaterületek összetevő t-próba (táblázat felső átlója, dőlt), valamint a Renkonen-index (táblázat alsó átlója) értékei (Ny – nyílt/lék; R – rudas; Sz – szálas; L – lábas; F – fenyő elegyes; K1 – kontroll 1; K2 – kontroll 2; K3 – kontroll 3)
 Figure 4: Similarity study – Bray-Curtis similarity based ordination analysis including every trap, values of Student's t-test (upper diagonal of the table, italic) and Renkonen similarity indices (Lower diagonal of the table) (Ny – open/gap; R – pole stand; Sz – high forest; L – older high forest; F – stand mixed with spruce; K1 – control 1; K2 – control 2; K3 – control 3)

A diverzitás indexek viszonylag magasak (gyakran az elvi maximumértéket megközelítők) voltak. A legalacsonyabb érték a lékek esetében volt tapasztalható. Ennek oka lehet a *P. alacris* tömeges jelenléte ezeken az élőhelyeken. A legmagasabb értéket pedig a rudas élőhely mutatta (2. táblázat).

Az egyes élőhelyek fajkészletének összehasonlítása alapján egyrészt elmondható, hogy a vonatkozó t-próbák nem mutattak ki azok között szignifikáns különbséget. Másrészt a Renkonen-indexek alapján a legkisebb hasonlóság a nyílt élőhelyek, valamint a K1 és K2 csapdák közösségei között állt fent, a legnagyobb pedig szintén a lékek és a lábas kategóriájú élőhely csapdái között. Előbbi oka lehet, hogy mind állományszerkezeti, mind fajösszetételei, mind termőhelyi szempontból eltérő élőhelyekről van szó. Utóbbi pedig, hogy e két élőhely záródása volt a legalacsonyabb (4. ábra).

Az ordinációs vizsgálat vonatkozó stressz-függvényének (ST) értéke 0,12, ami elfogadhatónak tekinthető (Podani 1997). A vizsgálat eredménye az előzőhöz hasonló képet mutat. Az erdőrézlet egyes élőhelyei (Ny, R, Sz, L, F) viszonylag jól elkülönülő csoportokat alkotnak, ugyanakkor a kontroll élőhelyek csapdái mind ezekkel, mind egymással átfedést mutatnak. A legnagyobb hasonlóságot az Ny, L, valamint F élőhelyek csapdái

mutatják egymással, a legkisebbet pedig 2. kontrollterület csapdáit. E csapdák egy patak völgybe, a pataktól egyre távolodva kerültek kihelyezésre. Különösen érdekes a nyílt élőhelyek csapdáinak nagy hasonlósága, figyelembe véve, hogy azok nem egymástól 5 m-re (mint a többi csapda esetén), hanem 3 különböző lékbe kerültek kihelyezésre (4. ábra).

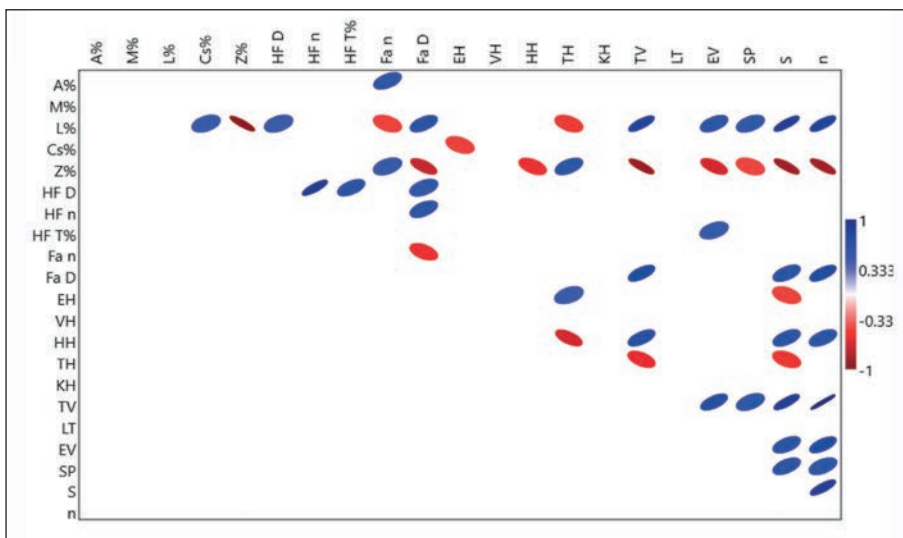


5. ábra: A magas dominancia értékkel (min. 5,0) rendelkező fajok és a vadászati stratégiák, valamint a vizsgált biotikus tényezők kanonikus korrespondencia analízisének (CCA) eredményei (A% – avar borítás, Cs% – cserje borítás, HF T% – holtfa törmelék borítás, L% – lágyszárú borítás, M% – moha borítás, Z% – lombkoronazáródás; Fa D – fa átmérő, Fa n – fa egyedszám, Fa s – fafajszám; B – bükk, EL – egyéb lomb, Gy – gyertyán, LF – luc, Ny – nyír; VH – vitorlaháló, HH – hurokháló, TH – tölcsérháló, KH – kerekháló, EH – egyéb hálós vadászó, TV – talajfelszín vadászó, LT – lesből támadó, S – specialista, EV – egyéb stratégiával vadászó) Figure 5: Canonical correspondence analysis (CCA) regarding high dominance species (min. 0.5), guild composition and biotic factors (A% – leaf litter, Cs% – shrub, HF T% – deadwood debris, L% – undergrowth, M% – moss, Z% – canopy; Fa D – DBH, Fa n – tree specimens, Fa s – tree species; B – beech, EL – other deciduous, Gy – hornbeam, LF – spruce, Ny – birch; VH – sheet web, HH – space web, TH – funnel web, KH – orb web, EH – other web builders, TV – ground hunters, LT – ambushers, S – specialists, EV – other hunters)

A kanonikus korrespondencia analízis alapján elmondható, hogy a *H. torpida* és *O. agrestis* fajok a lombkorona-záródással mutatnak erősebb kapcsolatot, míg az *A. fenestralis*, *H. lepida* és *T. flavipes* gyengébbet az avarborítással. A *P. alacris* pedig a záródással mutat negatív kapcsolatot. Állományszerkezet szempontjából az *A. fenestralis* erősebb, míg a *H. lepida* és *T. flavipes* gyengébb kapcsolatot mutat a törzsszámmal, valamint szintén gyengébb kapcsolatot mutat a *D. concolor* és a *D. picinus* a fafajszámmal. Fafajokat tekintve az

A. fenestralis és a *T. flavipes* mutat erősebb kapcsolatot a bükk és a lucfenyő előfordulásával. Végezetül a vadászati stratégiákat vizsgálva elmondható, hogy a záródással a tölcsér- és kerekhálós fajok, a törzsszámmal és a fafajszámmal a vitorlahálós és specialista fajok, az avarborítással a lesből támadók, a cserjeborítással az egyéb vadászók, míg a holtfa mennyiséggel a talajfelszínen vadászók mutatnak erős kapcsolatot (5. ábra).

A korrelációs vizsgálat eredményei szerint szignifikáns negatív kapcsolat áll fent: a lágyszárú borítás és a tölcsérhálós fajok gyakorisága; a lomkoronazáródás és hurokhálós, talajfelszínen vadászó, egyéb vadászó, specialista fajok gyakorisága, a fajsza és egyedszám; továbbá a cserjeszint borítása és az egyéb hálós fajok gyakorisága között. Szignifikáns pozitív kapcsolat áll fent: a lomkoronazáródás és a tölcsérhálós fajok gyakorisága; továbbá a lágyszárúborítás és a talajfelszínen vadászó, az egyéb vadászó, a specialista fajok gyakorisága, a fajsza és az egyedszám között (6. ábra).



6. ábra: Lineáris korrelációs analízis a felmért ökológiai tényezők, a vadászati stratégiák, a fajsza és az egyedszám bevonásával (szignifikáns kapcsolatok ellipszisekkel jelölve) (A% – avar borítás, Cs% – cserje borítás, HF T% – holtfa törmelék borítás, L% – lágyszárú borítás, M% – moha borítás, Z% – lombkoronazáródás; Fa D – fa átmérő, Fa n – fa egyedszám; VH – vitorlahálós, HH – hurokhálós, TH – tölcsérhálós, KH – kerekháló, EH – egyéb hálóval vadászó, TV – talajfelszínen vadászó, LT – lesből támadó, SP – specialista, EV – egyéb stratégiával vadászó; S – fajsza, n – egyedszám)

Figure 6: Linear correlation analysis regarding ecological factors, duild sturcture, species- and specimen numbers (significant correlations indicated by ellipses) (A% – leaf litter, Cs% – dhrub, HF T% – deadwood debris, L% – undergrowth, M% – moss, Z% – canopy; Fa D – DBH, Fa n – tree specimens; VH – sheet web, HH – space web, TH – funnel web, KH – orb web, EH – other web builders, TV – ground hunters, LT – ambushers, S – specialists, EV – other hunters; S – speciesnumber, n – specimennumber)

ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálat során a tipikusan erdőhöz, erdőszegélyhez köthető farkaspókok (főként a *P. alacris*), valamint a zugpókok (*H. torpida*) voltak legnagyobb arányban jelen. Bár az előbbi faj mindenhol nagy dominanciát mutatott, előfordulása több elemzésünk alapján is egyértelműen negatív kapcsolatot mutat a lombkoronazáródás mértékével, utóbbi faj dominanciája pedig csak a léceken volt alacsony. Ezzel összhangban több elemzésünk is kimutatta a lombkorona-záródás mértékével való pozitív kapcsolatát. Mindezek alapján az erős megvilágítás valószínűleg kevésbé kedveli. A fauna fajösszetételét tekintve mindenképpen kiemelendő még a *T. pallens*, *T. noricus* és *G. montana* fajok, amelyeknek első; valamint a *C. tetricus* faj, aminek második hazai előfordulását is sikerült kimutatni a tájegységben.



Az erdőrészes diverzitás értékei a kontrollterületekénél néhol magasabbak. E mellett a százalóvágásos erdőben csapdázott egyed- és fajszámok szintén magasabbnak bizonyultak a kontrollterületekeinél. Ezek alapján a Roth-féle százaló erdő csapdázott talajfelszín-közeli pókközössége valamelyest gazdagabbnak mutatkozik a vizsgált szomszédos erdőrészesületekeinél.

Bár szignifikáns különbségek nem mutatkoztak az egyes mintaterületek közösségei között, a vadászati stratégiák elemzése és a hasonlósági vizsgálatok alapján elmondható, hogy mind az erdőrészes területén belül, mind a kontrollterületekhez képest nagy változatosságok fordulnak elő a talajfelszín közeli pókközösségekben. Ehhez minden bizonnyal jelentősen hozzájárul az erdőrészes faállományszerkezetének inhomogenitása.

Összességében a Roth-féle százaló erdő területén egy viszonylag gazdag talajfelszín-közeli pókközösségekbe nyertünk betekintést, ahol változatos vadászati stratégiát alkalmazó, valamint ritka fajok is megtalálhatók voltak. Ugyanakkor a teljes közösség feltárása érdekében a további vizsgálatok indokoltak lehetnek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen kutatás az 'ÚNKP-19-3-I-SOE-1: Új Nemzeti Kiválóság Program – Felsőoktatási Doktori Hallgatói, Doktorjelölti Kutatói Ösztöndíj' keretében valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bali L., Szinetár Cs., Andrési D., Kámpel J. & Tuba K. 2016: Mesterségesen kialakított lécek talajközeli élő pókfaunájának (Araneae) vizsgálata. *Növényvédelem* 52(6): 287–296.
- Bali L., Szinetár Cs., Andrési D., Tuba K., & Kálmán K. 2017: Az Ásotthalmi Tanulmányi-erdő talajfelszíni pók és futóbogár közösségeinek összehasonlítása. In: Csiha I. (ed): *Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap 2017.: Tudományos Eredmények a Gyakorlatban – Konferenciakötet Alföldi Erdőkért Egyesület. Kecskemét*, 126–135.
- Bali L., Tuba K., Andrési D. & Szinetár Cs. 2018: Betekintés a Kecskemét környéki erdők talajközeli pókfaunájába. In: Csiha I. (ed): *Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap 2018.: Tudományos Eredmények a Gyakorlatban – Konferenciakötet Alföldi Erdőkért Egyesület. Kecskemét*, 110–111.
- Bali L., Kiss K.I. & Tuba K. 2019: A Hidegvíz-völgy Erdőrezervátum talajfelszín közeli pókegyüteseinek jellemzése. *Növényvédelem* 80(9): 385–391.
- Bali L., Andrési D., Szinetár Cs. & Tuba K. 2020: Betekintés a bejagyertyánosi Farkas-erdő talajközeli pókfaunájába. *Biologia – Savaria Tudományi és Sporttudományi Közlemények* 18: 59–74.
- Barber H. S. 1931: Traps for cave-inhabiting insects. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society* 46: 259–266.
- Beck J. & Schwanghart W. 2010: Comparing measures of species diversity from incomplete inventories: an update. *Methods in Ecology and Evolution* 1: 38–44.
- Borhidi A. 2007: Magyarország növénytaululásai. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Bray J.R. & Curtis J.T. 1957: An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27: 325–349.
- Cardoso P., Silva I., Oliveirade N.G. & Serrano A.R.M. 2004: Indicator taxa of spider (Araneae) diversity and their efficiency in conservation. *Biological Conservation* 120: 517–524.
- Cardoso P., Pekár S., Jocqué, R. & Coddington, J.A. 2011: Global patterns of guild composition and functional diversity of spiders. *PLoS One* 6(6, e21710): 1–10.
- Coates K.D. & Burton P. J. 1997: A gap-based approach for development of silvicultural systems to address ecosystem management objectives. *Forest Ecology and Management* 99: 337–354.
- Dövényi Z. (ed) 2010: Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.

- Elek Z., Bérces S., Szalkovszki O. & Ódor P. 2016: Hogyan segíthet az erdészeti gyakorlat megőrizni a talajfelszíni ragadozó ízeltlábúak diverzitását? In: Az erdőgazdálkodás hatása az erdők biológiai sokféleségére. Tanulmánygyűjtemény. Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Budapest. 203–215.
- Elek Z., Kovács B., Aszalós R., Boros G., Samu F., Tinya F. & Ódor P. 2018: Taxon-specific response to different forestry treatments in a temperate forest. *Scientific Reports* 8(16990): 1–10.
- Ferris R., Peace A.J. & Humphrey J.W. 2000: Relationships between vegetation, site type and stand structure in coniferous plantations in Britain. *Forest Ecology and Management* 136: 35–51.
- Greenstone M.H. 1979: A line transect density index for wolfspiders (*Pardosa* spp.), and a note on the applicability of catch per unit effort method to entomological studies. *Ecological Entomology* 4: 23–29.
- Halász G. (ed) 2006: Magyarország erdészeti tájai. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest.
- Hix D.M., Goebel P.C. & Whitman H.L. 2011: Canopy gap characteristics of an oldgrowth and an adjacent second-growth beech-maple stand in North-Central Ohio. In: Fei S., Lhotka J.M., Stringer J.W., Gpitschalk K.W. & Miller G.W. (eds): *Proceeding of 17th Central Hardwood Forest Conference. General Technical Report- P-78*, Lexington, KY: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station: 177–185.
- Horváth R., Magura T., Szinétár Cs. & Tóthmérész B. 2009: Spiders are not less diverse in small and isolated grasslands, but less diverse in overgrazed grasslands; a field study (East Hungary, Nyírség). *Agriculture Ecosystems & Environment* 130: 16–22. DOI: 10.1016/j.agee.2008.11.011
- Kádár F. & Samu F. 2006: A duplaedényes talajcsapadék használata Magyarországon. *Növényvédelem* 42(6): 305–312.
- Király G. 2008: Soproni-hegység. In: Király G., Molnár Zs., Böllöni J., Csiky J & Vojtkó A. (ed): *Magyarország földrajzi kistájainak növényzete*. MTA ÖBKI, Vácrátót.
- Király G., Csapody I., Szmorad F. & Tímár G. 2004: A Soproni-hegység edényes flórája. *Flora Pannonica* 2(1): 5–37.
- Kiss B. & Samu F. 2000: Evaluation of population densities of common wolf spider *Pardosa agrestis* (Araneae: Lycosidae) in Hungarian alfalfa fields using mark recapture. *European Journal of Entomology* 97: 191–195.
- Kiss K. I. 2019: A talajközlemben élő pókok vizsgálata a Hidegvíz-völgy Erdőrezervátumban. Diplomamunka. Soproni Egyetem, Sopron.
- Koloszár J. 2010: Erdőneveléstan. Kézirat. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron.
- Kremen C., Colwell R.K., Erwin T.L., Murphy D.D., Noss R.F. & Sanjayan M.A. 1993: Terrestrial arthropod assemblages: their use in conservation planning. *Conservation Biology* 7: 796–808.
- Lande R. 1996: Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos* 76: 5–13.
- Loksa I. 1969: Pókok I. – Araneae I. In: *Magyarország Állatvilága (Fauna Hungariae)*. 13. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Loksa I. 1972: Pókok II. – Araneae II. In: *Magyarország Állatvilága (Fauna Hungariae)*. 13. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Madas L. 1956: Ígéretes fákra alapított fatermesztési terv a Visegrád 77/A erdőrészben. Országos Erdészeti Főigazgatóság, Budapest.
- Maelfait J.-P. & Hendrickx F. 1998: Spiders as bioindicators of anthropogenic stress in natural and semi-natural habitats in Flanders (Belgium): some recent developments. In: Selden P.A. (ed): *Proceedings 17th European Colloquium Arachnology* 293–300.
- Majer A. 1986: A száralás helyzete hazánkban: a szakidőszak és a kísérleti területek értékelése alapján. *Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények* 36(2): 17–47.
- McCrae K.W. 2018: A Review of Sampling and Monitoring Methods for Beneficial Arthropods in Agroecosystems. *Insects* 9(4): 170.
- Mitchell R.J.; Hunter M L. & Palik B.J. 2002: Natural disturbance as a guide to silviculture (Preface). *Forest Ecology and Management* 155: 315–317.
- Molnár D. 2017: Lokális geokörnyezet alapú faállomány-szerkezeti vizsgálatok a Roth-féle száraló erdőben. PhD értekezés. Soproni Egyetem, Sopron.
- Molnár D., Folcz Á., Frank N. & Király G. 2014: Összefüggések egy száralóvágással kezelt szubmontán bükkös állomány-szerkezete, gyepszintje és nagygombafajkészlete között. *Erdészettudományi Közlemények* 4(1): 37–46.



- Nentwig W., Blick T., Gloor D., Hänggi A., & Kropf C. 2020: Spiders of Europe. www.araneae.unibe.ch. 2020.09.30.
- Ódor P. 2005: Javaslat a fekvő holt fa szisztematikus mérésére az erdőrezervátumokban. Kézirat, Budapest.
- Palmgren P. & Lönnqvist B. 1974: The spiders of some habitats at the Nåtö Biological Station (Åland, Finland). *Sociezas Scientiarum Fennica, Commentationes Biologicae* 73: 1–10.
- Palotay I. 1965: Fatömeg-tarifák. *Az Erdő* 14(9): 385–388.
- Renkonen O. 1938: Statisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. *Ann. Zool. Soc. Bot. Fenn. Vanamo* 6:1–231.
- Roth Gy. 1953: A Sopron-hidegvízvölgyi főiskolai tanulmányi szálalóerdő. In: Fehér D. & Pallay N. (ed): *Erdőmérnöki Főiskola Évkönyve; Sopron 1951-52. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*, 161–192.
- Roth Gy. 1958: A szálaló erdőről. In: Czirik I. (ed): *A szálalásról és a szálalóvágásról a hazai szakirodalom alapján. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest*.
- Runkle J.R. 1982: Patterns of Disturbance in Some Old-Growth Mesic Forests of Eastern North America. *Ecology* 63(5): 1533–1546.
- Podani J. 1997: Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeldtárás rejtjelmeibe. Scientia Kiadó, Budapest.
- Scott A.G., Oxford G.S. & Selden P.A. 2006: Epigeic spiders as ecological indicators of conservation value for peat bogs. *Biological Conservation* 12: 420–428.
- Simpson E.H. 1949: Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
- Szinetár Cs. 2006: Pókok. Keresztespókok, farkaspókok, ugrópókok és rokonaik a Kárpát-medencében. *Élővilág Könyvtár, Kossuth Kiadó, Budapest*.
- Szinetár Cs., Kovács P., Samu F. & Horváth R. 2006: Egy kisparcellás lucernaföld talajlakó pókfauája és annak szezonális változásai a Nyugat-Dunántúlon. *A Berzsenyi Dániel Főiskola Tudományos Közleményei XV. Természettudományok* 10: 69–79.
- Szinetár Cs., Kovács P. 2019: Pókszabásúak. In: Kárpáti L. (ed): *Soproni Tájvédelmi Körzet. Monografikus tanulmányok a Soproni-hegység természeti és kulturális értékeiről* 134–139.
- Szinetár Cs., Kovács P., Bali L., Kiss K. I. & Takács G. 2020: Ez már valóban az Alpok? A Soproni-hegység arachnológiai kutatása (2017–2019). 15. Regionális Természettudományi Konferencia. Program és előadások összefoglalói p.10.
- Wise D.H. 1993: *Spiders in Ecological Webs*. Londres: Cambridge University Press.
- Woodcock B.A. 2005: Pitfall trapping in ecological studies. In: Leather S. (ed): *Insect Sampling in Forest Ecosystems*. Blackwell, Oxford 37–57.
- Zou Y., Feng J., Xue D., Sang W. & Axmacher, J.C. 2012: A Comparison of Terrestrial Arthropod Sampling Methods. *Journal of Resources and Ecology* 3: 174–182.

Web 1.: 2009. évi XXXVII. törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról:
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A0900037.TV> (2020.09.30.)

*Érkezett: 2020. október 05.
Közlésre elfogadva: 2020. november 12.*

TALAJFAUNISZTIKAI- ÉS ÖKOLÓGIAI VIZSGÁLATOK ALFÖLDI RELIKTUM HOMOKI TÖLGYESEKBEN ÉS A HELYÜKÖN LÉTESÍTETT IDEGENHONOS FAÁLLOMÁNYOKBAN

Palkó Ákos¹, Ónodi Gábor², Rédei Tamás² és Winkler Dániel¹

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron

²Ökológiai Kutatóközpont, Ökológiai és Botanikai Intézet, Vácrátót

KIVONAT

Jelen kutatás célja a kiskunsági reliktum homoki tölgyesek és a helyükön létesített idegenhonos (nemes nyár, fekete fenyő, akác) ültetvények Collembola faunisztikai és ökológiai vizsgálata volt. A talajmintákat az említett négy állománytípusból gyűjtöttük, három ismétlésben. Összesen 3033 Collembola egyed válogatása és határozása történt meg, melynek során 56 fajt sikerült kimutatnunk. A kumulált fajszám legmagasabb értéke (47 faj) az őshonos homoki tölgyesre volt jellemző, míg ennek kevesebb, mint fele fordult elő a nemes nyár (19), fekete fenyő (22) és akác (23) ültetvényekben. A talajparaméterek Collembola közösségekre gyakorolt hatását vizsgálva pozitív összefüggést találtunk a C/N arány és az ugróvillások abundanciája ($r=0,71$; $F=10,44$, $p<0,05$), valamint a talajok humusztartalma és a Collembola közösségek diverzitása között ($r=0,61$, $F=5,98$, $p<0,05$). A kanonikus korrespondencia analízis a homoki tölgyesek és az idegenhonos fafajú ültetvények elkülönülését mutatta az elsősorban a pH és a humusztartalom által magyarázott tengely mentén.

Kulcsszavak: ugróvillás-közösségek, diverzitás, idegenhonos ültetvények, talajdegradáció

SOIL ECO-FAUNISTIC STUDY IN LOWLAND RELICT STEPPE OAK FORESTS AND IN REPLACEMENT NON-NATIVE TREE PLANTATIONS

Abstract

The aim of the present study was to investigate the soil Collembola communities in the relict closed lowland steppe oak forests in the Kiskunság. Further goal was to carry out comparative analyses of Collembola community diversity and abundance between the autochthon oak forests and the replacement allochthon plantations of non-native tree species (hybrid poplar, black pine, black locust). Soil samples were taken from the above mentioned four forest habitats in three replicates. A total of 3,033 specimens belonging to 56 Collembola species were collected and identified. Species richness was the highest (47) in the autochthon steppe oak forests. In comparison, number of species was less than a half in the hybrid poplar (19), black pine (22) and black locust (23) plantations. Regarding the relationships between the measured soil parameters and Collembola communities, positive correlations were found between the C/N ratio and Collembolan abundance ($r=0.71$; $F=10.44$, $p<0.05$) and between soil organic matter content and Collembola diversity ($r=0.61$, $F=5.98$, $p<0.05$). The canonical correspondence analysis (CCA) well separated the steppe oak forests and the non-native plantations along the axis mostly determined by soil pH and carbon content.

Keywords: Collembola communities, diversity, allochthonous plantations, soil degradation



BEVEZETÉS

Hazánk nagyalföldi területén egykoron magas részarányt képviseltek a homoki tölgyesek. Területcsökkenésük egyik fő oka a vízrendezéseket követő talajvízszint-csökkenés volt. A szárazodó makroklima hatására az átlagos talajvízszint tovább csökkent, s a víz egyes növények számára elérhetetlen mélységbe húzódott vissza (Bartha 2001). A másik fő tényező az ember általi gazdasági döntések sorozata volt, amely a fafajválasztásban, az erdők tarvágásos használati módjában nyilvánult meg. Olyan fafajok állományaival kívánták helyettesíteni a homoki tölgyesek zárt és nyílt típusait, amelyek jobban kihasználják az adott termőhelyi feltételeket, vágásfordulójuk rövidebb, vagy kevesebb tápanyaggal is beérik, mégis hasonló minőségű és értékű fát adnak. Származékdöket hoztak létre fehérryárral, továbbá kultúrerdőket létesítettek helyükön akác, fekete-, erdei-, simafenyő, feketedió fafajokkal, illetve nemes nyár fajtákkal (Lesznyák 1993). Évtizedek munkája nyomán mára odáig jutott a helyzet, hogy a természetes homoki tölgyes társulások foglalják el a legkisebb részt hazánk természetes eredetű, erdővel borított területéből (Molnár & Kun 2000).

Az ilyen markáns átalakítások a talajra és a talajfaunára is hatással vannak. Az idegenhonos, ültetvényyszerű faállományok biodiverzitása – így talajfaunájá is – eredendően szegényebb, mint az őshonos fafajok alkotta állományoké (Lindenmayer et al 2003). Hazai viszonylatban ezt a megállapítást főként az akác, feketefenyő, erdei fenyő és nemesnyár monokultúrák esetében igazolták (Traser & Csóka 2001, Traser 2003, Winkler & Tóth 2012), de ugyanez elmondható bármely egzóta ültetvényre Európa szerte (Klimetzek 1992), annak ellenére, hogy meglehetősen kevés az olyan vizsgálat, amely az idegenhonos fafajok hatását értékeli a talajlakó ugróvillás faunára nézve. Spanyolországban és Portugáliában elsősorban a kiterjedt eukaliptusz (*Eucalyptus* spp.) ültetvények jelentenek ilyen jellegű problémát. Eukaliptusz ültetvények, valamint nem őshonos tűlevelű ültetvények talajfaunára gyakorolt hatását vizsgálva (Arbea & Jordana 1985, Gama et al 1994, 1995, Sousa & Gama 1994, Pinto et al 1997, Sousa et al 1997) azt mutatták ki, hogy a Collembola közösségek diverzitását leginkább az állomány alatt képződő avarréteg eltérő kémhatása, valamint ezen keresztül a talajparaméterek megváltozása csökkenti.

Az erdőterületeinken sok helyen napjainkban is zajló élőhelyátalakítás hatásának vizsgálata a talajfaunisztika aktuális kérdése. Jelen kutatás újszerűségét az adja, hogy ezekben a reliktum jellegű homoki tölgyesekben – egy dél-kiskunsági vizsgálat (Traser & Csóka 2001) kivételével – nem történtek ilyen jellegű vizsgálatok, valamint hiányoznak az összehasonlító elemzések is az ültetvényyszerű nemesnyár, akác és fenyő állományokkal.

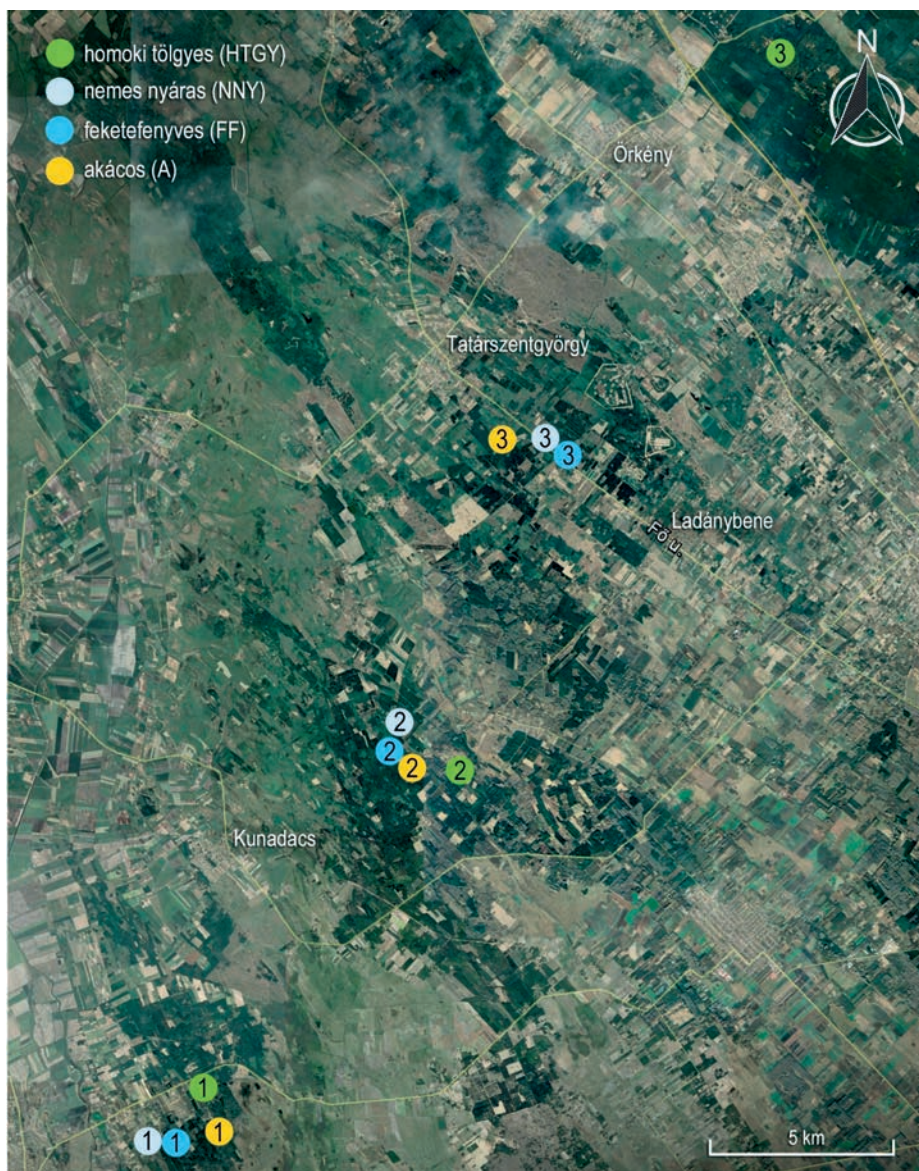
ANYAG ÉS MÓDSZER

Vizsgálati terület

A vizsgálat célkitűzéseinek megfelelően a mintaterületeket kiskunsági autochton zárt homoki tölgyes (HTGY) állományokban, valamint a helyükre ültetett, allochton nemes nyár (NNY), feketefenyő (FF) és akác (A) ültetvényekben jelöltük ki Pusztaavacs-Tatárszentgyörgy, Szabadszállás és Kunbaracs térségében. Törekedtünk a célfa faj magas elegyarányára, ezáltal a talajra gyakorolt hatás egzaktabb kimutatására. A mintavételezést három ismétlésben végeztük, egymástól jól elkülönülő helyszíneken (site-okon) (1. ábra). A négy vizsgált állománytípusból így 3–3 mintaterület jelöltük ki.

Terepi mintavételezés módszere

A talajparaméterek (0–10 cm) vizsgálatához minden mintaterületről 5 talajmintát (kb. 250 g) gyűjtöttünk. Ugyanezen pontokon a talajlakó mezofauna vizsgálatokhoz szintén 5 db, egyenként 100 cm³ bolygatatlan talajmintát vettünk speciális mintavevő henger segítségével. Négy állománytípust vizsgálva, típusonként 3 mintavételi területtel, területenként 5 gyűjtési ponttal összesen 60 (4x3x5) db minta került gyűjtésre, 2019. április 26-án.



1. ábra: A mintavételi területek elhelyezkedése

Figure 1: Location of the study area – sampling sites (green circles: old-growth oak forests; grey circles: hybrid poplar plantations; blue circles: black pine plantations; yellow circles: black locust plantations)



Laboratóriumi vizsgálatok

A légszárásra történő szárítás után a talajmintákat összetörtük, majd 2,0 mm átmérőjű szitán átszitáltuk. Minden mintából meghatároztuk a desztillált vizes ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) és a kálium-kloridos (pH_{KCl}) pH-t, a széntartalmat (C%), Tyurin módszerrel, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ és H_2SO_4 segítségével a humusztartalmat (H%), Kjeldahl módszerrel a N-tartalmat (%), az ammónium-laktát-oldható P- és K-tartalmat ($\text{AL-P}_2\text{O}_5$, $\text{AL-K}_2\text{O}$) és a mésztartalmat (CaCO_3) (Egnér et al 1960, Bacsó et al 1972, Buzás 1988).

Az ugróvilások kinyerése a talajmintákból Berlese-Tullgren elven (Tullgren 1918) működő papírtölcséres futtatóval történt, szobahőmérsékleten, 10 napos várakozási idővel. A lefutott mintákból az ugróvilások egyedeit sztereómikroszkóp segítségével válogattuk le. Az egyedek leválogatása és számolása az élőhelynek megfelelő névvel ellátott, felcímkézett, 70%-os etanol tartalmazó fiolákba történt. Az egyes fajokat a főbb taxonómiai kulcsok (Deharveng 1982, Fjellberg 1980, 1998, Babenko et al 1994, Zimdars & Dungler 1994, Weiner 1996, Jordana et al 1997, Pomorski 1998, Breffeld 1999, Potapov 2001, Thibaud et al 2004, Jordana 2012) segítségével határoztuk meg. Az ugróvilások rendszertani áttekintésénél a magyar fauna besorolását (Dányi & Traser 2008) vettük alapul.

Az adatfeldolgozás és kiértékelés módszerei

A közösségi-ökológiai elemzés során a fajszám, abundancia- és dominancia-viszonyok, fontosabb közösségi karakterisztikák – Shannon diverzitás (Shannon & Weaver 1949), kiegyenlítettség (Pielou 1966), közösségi dominancia index (Krebs 1978) – segítségével végeztük el a vizsgált állományok összehasonlító értékelését. A diverzitások összehasonlítását a Rényi-féle diverzitási profilok segítségével hasonlítottuk össze (Tóthmérész 1997). A talajkörnyezeti paraméterek és a Collembola fajok összefüggéseinek további feltárására kanonikus korrespondencia analízist (CCA) végeztünk. Az ordináció alkalmazása során a talajkörnyezeti változókat az általuk lefedett variancia alapján válogattuk ki lépésenkénti kiválasztás alkalmazásával (ter Braak & Šmilauer 2002). Emellett a kis létszámban (<5) előforduló fajokat nem vontuk be az analízisbe, a bizonytalan kapcsolatok kiküszöbölése végett. Az elemzéseket a Past version 2.17b (Hammer et al 2001) statisztikai program segítségével végeztük el.

EREDMÉNYEK

Talajparaméterek

A mért talajparamétereket az 1. táblázat tartalmazza. A minták a pH értékek alapján a savanyútól a gyengén lúgos talajkémhatási kategóriákba esnek. A homoki tölgyesek mintái gyengén savanyúak, míg a nemes nyárasok gyengén lúgosak voltak. A feketefenyvesek és az akácok mintái többnyire neutrális-gyengén lúgos kategóriába tartoznak, bár utóbbi állománytípusnál savanyú talaj is előfordult. A homoki tölgyesekkel összehasonlítva az ültetvényyszerű állományokat, egyedül a nemes nyárasok esetében mutatkozott szignifikáns eltérés a pH-t illetően.

A széntartalom, illetve humusztartalom a homoki tölgyesek mellett az akácokban is magas volt, leg-alacsonyabb értékei a nemes nyárasokban adódtak (egyben szignifikáns különbséget is mutatva a homoki tölgyesekkel összehasonlítva).

A szemcseeloszlás hasonló volt, nem mutatkozott szignifikáns eltérés egyetlen frakció esetében sem.

A nitrogéntartalom a vártak megfelelően az akácok esetében magasabbnak adódott, de szignifikáns eltérés nem volt megfigyelhető a homoki tölgyesekkel összehasonlítva (azonban a nemes nyárasok és feketefenyvesek talajának nitrogéntartalma szignifikánsan kisebb volt az akácosénál). A foszfor- és káliumtartalom tekintetében nem mutatkozott szignifikáns eltérés egy esetben sem.

1. táblázat: A vizsgált állományok talajparamétereinek átlagos értékei. A szignifikáns eltérések ($p < 0,05$) a kontrollnak tekintett homoki tölgyestől vastagon szedve láthatók. HTGY – homoki tölgyes, NNY – nemes nyáras, FF – feketefenyves, A – akácok
Table 1: Soil parameters (mean \pm SE) in the studied forest types. Significant differences from the steppe oak forests, considered as control, are indicated in bold letter. HTGY – steppe oak forests, NNY – hybrid poplar, FF – Black pine, A – Black locust

Talajparaméter	HTGY	NNY	FF	A
pH (H ₂ O)	6,10 \pm 0,26	7,70 \pm 0,10	7,20 \pm 0,15	6,57 \pm 0,59
pH (KCl)	5,87 \pm 0,38	7,60 \pm 0,06	7,10 \pm 0,14	6,20 \pm 0,70
C%	2,53 \pm 0,64	0,70 \pm 0,15	0,90 \pm 0,35	3,10 \pm 0,62
H%	4,13 \pm 1,11	1,20 \pm 0,26	1,60 \pm 0,60	5,30 \pm 1,06
A%	3,67 \pm 1,33	3,00 \pm 1,15	1,67 \pm 0,67	3,67 \pm 0,67
I%	4,00 \pm 1,15	3,33 \pm 0,67	4,67 \pm 1,33	4,00 \pm 1,15
Fh%	55,33 \pm 5,55	59,33 \pm 5,49	54,00 \pm 2,52	53,33 \pm 5,93
Dh%	37,00 \pm 7,23	34,33 \pm 6,69	39,67 \pm 2,33	39,00 \pm 6,93
N%	0,22 \pm 0,05	0,07 \pm 0,02	0,09 \pm 0,03	0,37 \pm 0,07
AL-P ₂ O ₅ (mg/kg)	11,97 \pm 1,97	31,97 \pm 13,98	22,87 \pm 8,87	30,40 \pm 11,67
AL-K ₂ O (mg/kg)	176,67 \pm 5,24	149,00 \pm 30,53	95,67 \pm 13,93	192,00 \pm 34,27

Faunisztikai eredmények

A vizsgálat során összesen 3033 Collembola egyedét határoztunk meg. Összesen 56 fajt sikerült beazonosítani, ezek állománytípusonkénti átlagos abundancia-értékeit 1 m²-re vonatkoztatva az 2. táblázat tartalmazza. Az előkerült fajok összesen 14 családot képviselnek.

A zárt homoki tölgyesek (HTGY) nagy fajgazdagságot mutatnak, a mintaterületeken összesen 47 fajt sikerült beazonosítanunk, amelyek 14 családot képviselnek. Az ugróvillások 40%-a az Isotomidae család fajai közül került ki, amelyek közül eudominánsnak tekinthető a *Parisotoma notabilis* faj. Sikerült kimutatnunk az Ásott-halomról leírt *Appendisotoma juliannae* fajt is (Traser & Csóka 2001), amely kizárólag a homoki tölgyesekből került elő. Az Entomobryidae családból összesen 13 faj került elő a homoki tölgyesekből. Ezek közül a teljes közösségre nézve szubdomináns az *Entomobrya multifasciata*. Érdekesség a mirmecofil *Entomobryoides myrmecophilus* faj előfordulása. A főként hemiedaphon, avarszintben illetve talajfelszínen mozgó fajok közül a *Lepidocyrtus* génusz négy fajjal (*L. cf. arrabonicus*, *L. cyaneus*, *L. lanuginosus*, *L. lignorum*) is jelen volt. Szubdomináns faj volt még az Onychiuridae családba tartozó *Protaphorura armata* is. A gömböc ugróvillások közül előkerült a Tömösváry Ödön által 1883-ban leírt *Sminthurus maculatus* faj egy fiatal egyede is.

A nemes nyárasokban (NNY) 7 család 19 faja került elő. Hasonlóképpen itt is az Isotomidae (40,81%), ezt követően pedig az Entomobryidae család (26,68%) aránya volt a legnagyobb, de 10% feletti részarányal képviseltek az elsősorban mélyebb rétegekben élő fajokat magukba foglaló Onychiuridae és Tullbergiidae családok.

A domináns fajok tekintetében a nemes nyárasok közössége mutat hasonlóságot a homoki tölgyesekével, azonban meglehetősen magas azoknak az akcesszórius és rarus fajoknak a száma, amelyek itt már nem voltak megtalálhatók. Domináns fajok a *Parisotoma notabilis*, *Entomobrya multifasciata*, *Protaphorura*



armata, szubdomináns pedig a *Mesaphorura krausbaueri*. Érdemes megemlíteni, hogy a gömböc ugróvilások (Symphypleona) szinte teljesen hiányoztak ezekből az állományokból, csupán az egyébként gyakori *Sphaeridia pumilis* faj mindössze egyetlen egyedét sikerült megtalálnunk.

A feketefenyvesekben (FF) 8 család összesen 22 fajt gyűjtöttük. A fenyvesekben is nagy részarányal (29,53%) jelenik meg az Isotomidae család, de hasonlóan magas a Hypogastruridae család részaránya is (28,47%), ami elsősorban a xerofil *Xenylla brevisimilis* faj tömeges előfordulásának köszönhető. Az Entomobryidae család részaránya is meghaladja a 20%-ot, elsősorban a fenyvesekben is domináns *Entomobrya multifasciata* fajnak köszönhetően. Érdekesként említhető meg egy másik *Entomobrya* faj, az *E. nigriventris* előfordulása, amelyet Stach (1930) írt le a Tolna megyei Simontornya mellől. Ez a xerothermofil faj a kiskunsági gyeppek egyik karakterfaja (Hornung 1986), amely a sorokba ültetett, gyér aljnövényzetű fenyvesekbe is alkalmanként eljuthat. A Tullbergiidae család magas részaránya a szubdomináns, euedafikus *Mesaphorura* fajoknak (*M. critica*, *M. krausbaueri*) köszönhető. Az Onichiuridae család részaránya ugyan csekély, de egy érdekes fajjal képviselt: a *Protahorura serbica* ugróvilást Loksa & Bogojevic (1967) írták le a szerbiai Deliblát homokpusztáról.

Az akácokban (A) 9 család összesen 23 fajt sikerült kimutatni. Az akácokban a legnagyobb egyedszám szerinti részarányal (28,77%) a Tullbergiidae család képviselt (20. ábra), a közösség egyik domináns (*Mesaphorura krausbaueri*) és egy további szubdomináns faja (*M. critica*) is ebből a családból kerül ki. Az Isotomidae családba az egyedek egynegyede tartozik, domináns faj a teljes közösségre nézve a *Parisotoma notabilis*, emellett előfordult még az *Isotomiella minor* is, amelyet az akácokon kívül kizárólag a homoki tölgyesekben találtunk. Számottevő az Onichiuridae család részaránya is (16,50%), a domináns *Protaphorura armata* mellett – kisebb egyedszámban – még további három *Protaphorura* faj is előkerült az akácokból (*P. aurantiaca*, *P. gisini*, *P. cancellata*). Az Entomobryidae család az akácokban is domináns *Entomobrya multifasciata* mellett a *Lepidocyrtus* genusz több fajával is képviselt. Ezek közül említést érdemel a ritkább *L. nigrescens*, amely eddig elsősorban hazánk lösz- és homokvidékeiről került elő (Loksa 1987, 1991, Traser & Horváth-Szováti 2004).

2. táblázat: Az előforduló Collembola fajok átlagos abundanciája (egyed/m²) a vizsgált erdőállományokban

HTGY – homoki tölgyes, NNY – nemes nyáras, FF – feketefenyves, A – akác

Table 2: Collembola species spectrum and mean abundance (ind./m²) in the sampled forest types

HTGY – steppe oak forests, NNY – hybrid poplar, FF – Black pine, A – Black locust

COLLEMBOLA	HTGY	NNY	FF	A
Brachystomellidae				
<i>Brachystomella curvula</i> (Gisin, 1948)	0	0	0	11±11
Hypogastruridae				
<i>Ceratophysella denticulata</i> (Bagnall, 1941)	0	0	44±44	0
<i>Choreutinula inermis</i> (Tullberg, 1871)	33±19	0	0	0
<i>Willemia anophthalma</i> (Börner, 1901)	133±33	222±206	0	444±183
<i>Willemia virae</i> (Kapus, 1997)	33±19	22±22	0	11±11
<i>Xenylla brevisimilis</i> (Stach, 1949)	278±59	0	1589±308	178±178
<i>Xenylla maritima</i> (Tullberg, 1869)	0	0	167±135	0
Neanuridae				
<i>Deutonura conjuncta</i> (Stach, 1926)	67±51	11±11	0	0
<i>Friesea truncata</i> (Cassagnau, 1958)	55±22	0	0	0
<i>Micranurida pygmaea</i> (Börner, 1901)	89±73	0	0	0

A 2. táblázat (folytatás)

Table 2. (cont.)

COLLEMBOLA	HTGY	NNY	FF	A
<i>Pratanurida cassagnai</i> (Rusek, 1973)	33±33	0	0	0
<i>Pseudachorutes parvulus</i> (Börner, 1901)	33±33	0	11±11	0
<i>Pseudachorutes subcrassus</i> (Tullberg, 1871)	100±19	0	0	0
Odontellidae				
<i>Superodontella cf. empodialis</i> (Stach, 1934)	11±11	0	0	0
Onychiuridae				
<i>Protaphorura armata</i> (Tullberg, 1869)	1289±393	878±630	0	767±208
<i>Protaphorura aurantiaca</i> (Ridley, 1880)	211±211	0	0	67±67
<i>Protaphorura gisini</i> (Haybach, 1960)	0	33±33	22±22	11±11
<i>Protaphorura cancellata</i> (Gisin, 1956)	522±300	11±11	0	67±19
<i>Protaphorura cf. serbica</i> (Loksa & Bogojevic, 1967)	0	0	11±11	0
Tullbergiidae				
<i>Doutnacia xerophila</i> (Rusek, 1974)	156±59	0	22±11	0
<i>Mesaphorura critica</i> (Ellis, 1976)	378±154	211±62	422±219	467±117
<i>Mesaphorura krausbaueri</i> (Börner, 1901)	645±261	545±62	567±184	1033±135
<i>Mesaphorura macrochaeta</i> (Rusek, 1976)	89±40	100±39	122±91	89±11
<i>Metaphorura affinis</i> (Börner, 1902)	11±11	0	0	0
Cyphoderidae				
<i>Cyphoderus bidenticulatus</i> (Parona, 1888)	33±19	0	0	0
Entomobryidae				
<i>Entomobrya corticalis</i> (Nicolet, 1842)	22±22	0	0	0
<i>Entomobrya multifasciata</i> (Tullberg, 1871)	1478±250	1533±577	1145±491	611±204
<i>Entomobrya nigriventris</i> (Stach, 1930)	0	0	11±11	0
<i>Entomobrya schoetti</i> (Stach, 1922)	756±623	0	56±56	0
<i>Entomobryoides myrmecophilus</i> (Reuter, 1886)	11±11	0	11±11	0
<i>Lepidocyrtus cf. arrabonicus</i> (Traser, 2000)	389±295	11±11	0	22±22
<i>Lepidocyrtus cyaneus</i> (Tullberg, 1871)	78±40	56±11	0	67±67
<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> (Gmelin, 1788)	355±91	33±19	22±22	33±19
<i>Lepidocyrtus lignorum</i> (Fabricius, 1793)	733±171	0	44±29	0
<i>Lepidocyrtus nigrescens</i> (Szeptyczki, 1967)	0	0	0	33±19
Entomobryidae				
<i>Pseudosinella alba</i> (Packard, 1873)	0	0	0	22±22
<i>Pseudosinella sexoculata</i> (Schött, 1902)	100±67	0	0	11±11
<i>Pseudosinella cf. wahlgreni</i> (Börner, 1907)	133±33	11±11	22±11	0
<i>Orchesella cincta</i> (Linnaeus, 1758)	78±49	33±33	33±33	0
<i>Orchesella multifasciata</i> (Stscherbakow, 1898)	11±11	0	0	0
<i>Orchesella spectabilis</i> (Tullberg, 1871)	11±11	0	0	0



A 2. táblázat (folytatás)
Table 2. (cont.)

COLLEMBOLA	HTGY	NNY	FF	A
Isotomidae				
<i>Appendisotoma franzi</i> (Haybach, 1962)	267±70	0	44±29	0
<i>Appendisotoma juliannae</i> (Traser, Thibaud & Najt, 1993)	100±33	0	0	0
<i>Cryptopygus bipunctatus</i> (Axelson, 1903)	267±19	0	0	0
<i>Folsomia manolachei</i> (Bagnall, 1939)	111±29	11±11	0	0
<i>Folsomides parvulus</i> (Stach, 1922)	0	0	22±22	0
<i>Isotomiella minor</i> (Schäffer, 1896)	667±203	0	0	100±100
<i>Parisotoma notabilis</i> (Schäffer, 1896)	4255±737	2545±680	1800±669	1311±111
<i>Proisotoma minuta</i> (Tullberg, 1871)	645±267	11±11	0	0
Tomoceridae				
<i>Tomocerus</i> sp. juv	11±11	0	0	0
Bourletiellidae				
<i>Fasciosminthurus strigatus</i> (Stach, 1922)	22±11	0	78±78	0
Katiannidae				
<i>Sminthurinus aureus</i> (Lubbock, 1862)	55±40	0	0	0
Sminthurididae				
<i>Sphaeridia pumilis</i> (Krausbauer, 1898)	622±219	11±11	0	100±58
Sminthuridae				
<i>Sminthurus maculatus</i> (Tömösváry, 1883)	11±11	0	0	0
<i>Spatulosminthurus flaviceps</i> (Tullberg, 1871)	22±22	0	0	0
<i>Lipothrix lubbocki</i> (Tullberg 1872)	133±70	0	78±49	56±11

Közösségi ökológiai eredmények

A vizsgált autochton (homoki tölgyes) és allochton (tájidegen fafajú) állományok Collembola-közösségeinek fontosabb paramétereit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: A vizsgált állománytípusok ugróvillás-közösségeinek fontosabb karakterisztikái (átlag±SE).

HTGY – homoki tölgyes, NNY – nemes nyáras, FF – feketefenyves, A – akácós; *kumulatív fajszám

Table 3: Mean values of collembola community characteristics in the sampled forest types (mean±SE). HTGY – steppe oak forests,

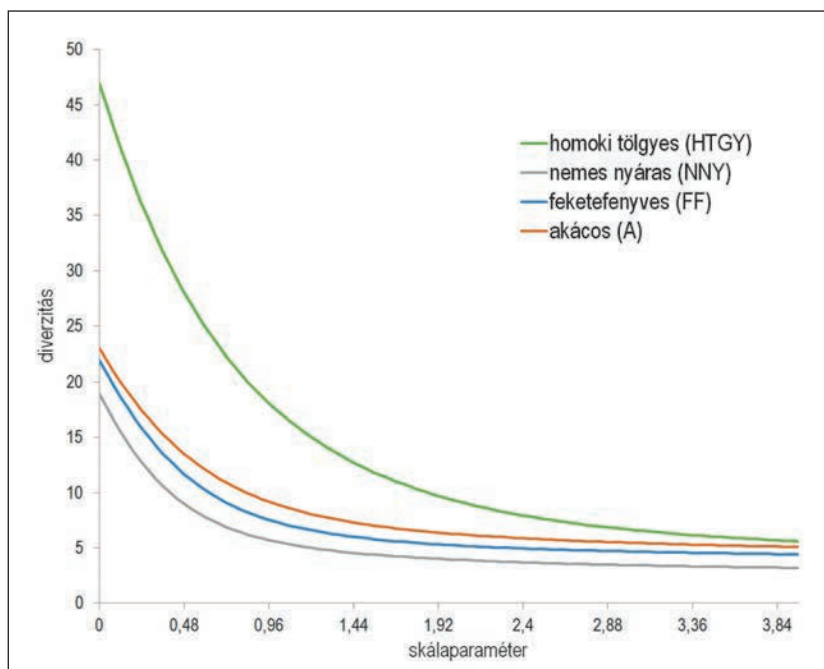
NNY – hybrid poplar, FF – Black pine, A – Black locust; *cumulative species richness

	HTGY	NNY	FF	A
Fajszám (S)	35,67±0,67 (*47)	11,33±2,03 (*19)	12,67±0,33 (*22)	14,67±1,20 (*23)
Abundancia (A) (egyed/m ²)	15544±2139	6289±1820	6333±918	5522±405
Shannon index (H')	2,698±0,083	1,567±0,157	1,807±0,032	2,129±0,062
Egyenletesség (J)	0,755±0,026	0,655±0,049	0,712±0,019	0,795±0,005
Közösségi dominancia index (KDI)	40,34±2,80	67,14±6,58	58,50±2,77	45,07±1,83

Mind az átlagos és a kumulatív fajszámot (S) tekintve a homoki tölgyesek bizonyultak a legfajgazdagabbnak. Ha a teljes vizsgálati területen gyűjtött *Collembola* fajok számát (56) 100%-nak tekintjük, akkor a homoki tölgyes állományokban 84%-a (47 faj) fordult elő. A fajokban legszegényebb állománytípust a nemes nyárasok jelentették, itt mindössze 19 faj (a teljes területen kimutatott fajkészletnek csupán 34%-a) került elő. A feketefenyvesekben előkerült fajok száma (22), bár a nemes nyárasokénál magasabb, a homoki tölgyesekkel összehasonlítva még mindig alacsonynak mondható, s a teljes fajkészletnek mindössze 39%-a. Az akácok kumulált fajszáma nem éri el a homoki tölgyesekben talált fajok számának felét sem, a teljes fajkészletnek mindössze 41%-a volt ezekben az állományokban kimutatható.

A legnagyobb átlagos ugróvillás-abundancia (A) szintén a homoki tölgyesek talajában volt jellemző: az idegenhonos ültetvényekkel összehasonlítva közel háromszoros az 1 m²-re vonatkoztatott egyedszám a homoki tölgyesekben.

A Shannon-diverzitás (H') legnagyobb átlagos értéke is a homoki tölgyesekre jellemző, ezt követi sorrendben az akácok, feketefenyves és végül a nemes nyáras diverzitása. Ezt igazolják a Rényi-féle diverzitás profilok (2. ábra) is, amelyek a Shannon-diverzitáson kívül a fajszámot és a Simpson-diverzitást is figyelembe veszik. A profilok nem metszik egymást, ezért a közösségek rangsorolhatók, melynek alapján a homoki tölgyes → akácok → feketefenyves → nemes nyáras sorrend állítható fel.



2. ábra: A vizsgált erdőállományok *Collembola*-közösségeinek diverzitási profiljai
Figure 2: Diversity profiles of *Collembola* communities in the sampled forest types

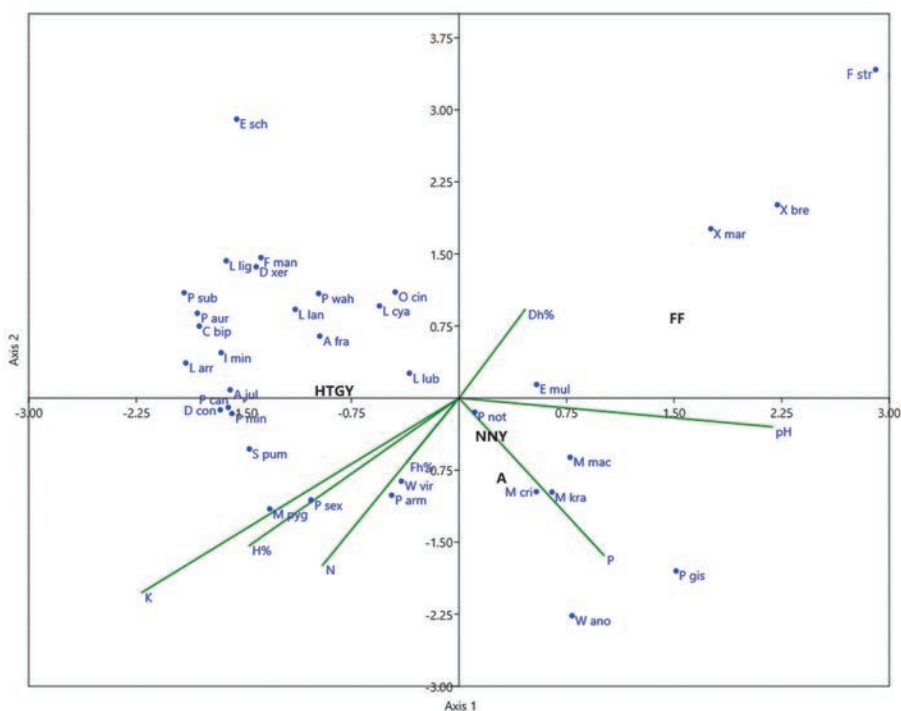
A kiegyenlítettség (J) legmagasabb átlagos értéke az akácokra volt jellemző, míg legalacsonyabb a kiegyenlítettség a nemes nyárasok *Collembola*-közösségeinél.

A közösségi dominancia-index (KDI) legnagyobb átlagos értéke a nemes nyárasoknál adódott, amely utal az itt található ugróvillás-közösségek kedvezőtlen szerkezetére, kiegyenlítetlen viszonyaira is. Az index legkisebb átlagos értékét a homoki tölgyesek közösségeinél kaptuk.

A talajparaméterek és a Collembola-közösségek összefüggései

Az egyes talajparaméterek hatását vizsgálva az ugróvillás-közösségek főbb jellemzőire (fajszám, diverzitás, abundancia) két szoros, szignifikáns összefüggést kaptunk. A C/N arány növekedése szignifikáns ($r=0,71$; $F=10,44$, $p<0,05$), pozitív hatással bír az ugróvillás-abundanciára. A magas C/N arány a homoki tölgyesekre volt jellemző, és itt volt a legmagasabb az átlagos abundancia is. Előbbi összefüggés mellett a humusztartalom (H%) mutatott még erős-közepes, szignifikáns kapcsolatot ($r=0,61$; $F=5,98$, $p<0,05$) a Collembola-közösségek diverzitásával. Magas humusztartalom az őshonos homoki tölgyesek mellett az akácokos talajra is jellemző volt, amely állományok talaját – a többi idegenhonos ültetvényekkel összevetve – viszonylag magasabb diverzitású ugróvillás-közösségek népesítik be.

Az ordinációs elemzések emellett komplexebb összefüggések feltárását is lehetővé tették. A kanonikus korrespondencia analízis (CCA) eredményét a 3. ábra szemlélteti. A Monte Carlo permutációs teszt igazolta az első két tengely szignifikanciáját ($p<0,05$), amelyek együttesen 65,72%-át magyarázzák a varianciának. Az első tengellyel 42,44%-ot, míg a második tengellyel további 23,28%-ot fedünk le. Amint az a 3. ábrán megmutatkozik, az első tengelyt a talaj pH határozza meg, de nem elhanyagolható a kálium- és humusztartalom hatása sem. A második tengelyt a talaj nitrogén- és foszfortartalma határozza meg jobban.



3. ábra: Az ugróvillás fajok, erdőtüpusok és a háttérváltozók elhelyezkedése a CCA ordináció első két tengelye mentén (a fajok a tudományos név 1+3 betűs kódjával vannak feltüntetve)

Figure 3: Ordination biplot of CCA with *Collembola* species, forest types and selected soil variables. *Collembola* species name abbreviations consist of the initial letter of the genus name followed by the first three letters of species

Az elsősorban nyílt területekre jellemző, leginkább xerothermofil fajok (*Xenylla maritima*, *X. brevisimilis*, *Friesea truncata*) a feketekenyvesekhez kötődnek, amelyek az enyhén lúgos hatás miatt is az első tengely pozitív irányában találhatóak. A feketefenyvesek mellett a nemes nyárasok és az akácokos is az első ten-

gely pozitív oldalán helyezkednek el, a hozzájuk leginkább kötődő, a kedvezőtlenebb körülményeket is elviselő fajokkal. Ezek elsősorban a Tullbergiidae családból kerülnek ki (*Mesaphorura critica*, *M. krausbaueri*, *M. macrochaeta*). Az első tengely negatív oldalán találjuk a homoki tölgyes mintaterületeket, amelyekre az enyhén savanyú talaj mellett a nagyobb humusz, illetve széntartalom is jellemző volt. Emiatt az acidofil fajok (pl. *Micranurida pygmaea*) mellett olyan fajokat találunk, amelyek a legtöbbször zárt erdők, magas humusztartalmú talajában fordulnak elő (*Protaphorura cancellata*, *Appendisotoma juliae*, *Isotomiella minor*, *Cryptopygus bipunctatus*, *Proisotoma minuta*, *Pseudosinella* cf. *wahlgreni*). A leggyakoribb, minden élőhelyen domináns fajok, mint a *Parisotoma notabilis* és az *Entomobrya multifasciata* centrális helyzetűek.

MEGVITATÁS

Az ember tájhasználatát – s ezen belül az erdőgazdálkodás is – jelentősen átformálta a természetes tájakat, erdeinket (Traser & Horváth-Szováti 2004). A drasztikus átalakítások közé tartozik a tájidegen, nem őshonos fajok telepítése a természetes vagy természetserű erdők, gyepek helyén. Ezeknek a markáns folyamatoknak számos természetvédelmi és egyben érdekes talajbiológiai vonatkozásai is vannak. Az idegenhonos, ültetvényeszerű faállományok talajlakó faunája is alapvetően szegényebb, mint az őshonos fajok alkotta állományoké (Lindenmayer et al 2003). A Kiskunságban, zárt homoki tölgyesekben és az azok helyére teleptett idegenhonos faültvényekben végzett talajfaunisztikai kutatásunk eredményei is ezt igazolják. Míg a teljes vizsgálati területen gyűjtött Collembola fajok számát 100%-nak tekintve a homoki tölgyes állományokban a fajok 84%-a előfordult, ez a százalékos arány az akácokban 41%, a feketefenyvesekben 39%, a nemes nyárasokban pedig mindössze 34% volt. A vizsgálati eredményekből azonban nem minden esetben szabad olyan következtetéseket levonni, amelyek határozottak és messzemenők, illetve irreverzibilis folyamatokra utalnak, de vitathatatlanul vannak olyan faunisztikai és közösségi-ökológiai eredmények, amelyeket további vizsgálatssorozatokkal érdemes alátámasztani. A területekről az alábbiak szerint elmondható, hogy az állományalkotó fajok erőteljes hatással vannak a talajparaméterekre a talajokban zajló folyamatok megváltoztatásával. Hasonló, negatív összefüggést állapított meg Hágvar (1987) a talajleromlás foka és az ugróvillás közösségek fajszáma, abundanciája között. A szakirodalomban fellelhető ezzel szemben olyan példa, amelyben az ugróvillás-közösségek ellenállnak a különböző degradációs folyamatoknak a nehézfémek felhalmozódása és talajkémhatás változtató hatása során (Bengtsson & Rundgren 1988).

Az Duna–Tisza közti homokhátság területén megtalálható legfontosabb idegenhonos, adventív, gazdaságilag és területarányosan jelentős fafajaink a fehér akác (*Robinia pseudoacacia*), a feketefenyő (*Pinus nigra*), valamint a különböző nemes nyár fajták. Ezek a fajok hazánkban számos termőhelyen és területen megtalálhatók, ahol hosszú évtizedes jelenlétük, szerves anyagaikból származó bomlástermékeik megváltoztatták a talaj egyes paramétereit, az élővilágát, az eredeti növénytakarásulást egyik alappillére (Ónodi 2016).

Az erdei- és feketefenyő is erőteljes hatással vannak a talajfauna összetételére egyes talajparaméterek formálása révén. A talajra hulló, vastagon felhalmozódó, nehezen és lassan bomló, gyantás fenyő tűlevelek bomlása közben savas jellegű vegyületek, terpének, gyűrűsláncú, fenolos jellegű molekulák keletkeznek és szabadulnak fel, amelyek a meszes homok bázikus tulajdonságát tompítják, semlegessé majd idővel gyengén savanyúvá téve azt. A fenolos jellegű vegyületek biológiai gátolóanyagokként a talajba bemosódva csírázásgátlóként fejtik a hatásukat (Cseresnyés & Tamás 2014). A fenyőültvényekben ezért a lebontás hatékonysága a talajfauna által jóval kisebb hatékonyságú, mint a lombos állományokban (Dunger & Voigtländer 2009). Tengerparti fenyő (*Pinus pinaster*) ültetvényekben végzett vizsgálataik alapján Arbea & Jordana (1985), valamint Gama et al (1994, 1995) arra az eredményre jutottak, hogy a tűvar átalakító hatásának következtében az ugróvillások egyedszám-csökkenése mellett számos faj el is tűnik a területről. Hazai vizsgálatok során hasonló következtetésre jutottak. Telepített erdei- és feketefenyvesek talajában a Collembola fajsza és abundancia jelentősen



alulmaradt a természetszerű, fehér nyárral elegyes kocsányos tölgy állományokkal szemben (Traser & Csóka 2001). Winkler & Tóth (2012) nyugat-dunántúli erdei- és feketefenyő ültetvényekben végzett vizsgálatai is hasonló eredményre vezettek. Megállapították azonban, hogy a fenyvesek talajában még szép számmal található olyan fajok is, amelyek a természetes társulások (molyhos tölgyesek, sztyeprétek) talajában is előfordulnak. Így a talajdegradációs folyamatok még nem tekinthetők visszafordíthatatlannak, és egy letermelést követő visszagyepesítés vagy őshonos fajjal való felújítás pozitív irányú változásokat is hozhat.

Az akác hatását – hatalmas térfoglalása ellenére – kevesen vizsgálták a talajfaunára nézve. Rice et al (2004) vizsgálatai alapján az akác nitrogénfixáló képességével jelentősen megváltoztatja a talajok nitrogénforgalmát. Fájában nagy mennyiségben találunk nehezen bomló poliszacharidokat, lignint és szerves savakat, amelyek nem járulnak hozzá bomlásuk során a talaj humusztartalmának növeléséhez, tápanyagtartalmát sem növelik a talajnak (Kurt & Erteld 1952). Levelének fitotoxin tartalma idézi elő a lombjának bomlásából származó allelopatikus hatást a többi növény számára, ezzel elősegítve gyökérsarjainak felferődését a növőtér biztosításával. De befolyásolja a talaj szerkezetének milyenségét és átjárhatóságát, mert a lágyszárú növények hiányában elmarad a lágyszárúak gyökerei által okozott talajlazítás és a kedvezőbb vízáteresztő képesség kialakulása. Különösen erősen érinti ez a tápanyagszegény homoktalajokat, emellett befolyásolja az állományai fényviszonyait és a mikroklímáját, így a talaj mikrofaunáját is. Ez a fajaj másodlagos metabolitokat (pl. toxalbuminokat, robint és phasin) képes előállítani és felszabadítani, amelyek gátló hatással lehetnek a talajlakó állatok fehérjeszintézisére (Hui et al 2004, Rahmonov 2009, Lazzaro et al 2018). Ezt egyes ugróvillás fajok kevésbé tolerálják (Hopkin 1985). Harta et al (2018) akác telepítések ugróvillás faunáját vizsgálva kisebb fajszámot és diverzitást mutatott ki hasonló korú kocsánytalan tölgyes telepítéssel összehasonlítva, az abundancia azonban az akácokban volt – ha nem is jelentősen – magasabb. A kiskunsági vizsgálatok azt mutatták, hogy az akácok ugróvillás-diverzitása, bár elmarad a homoki tölgyesekétől, a nyemes nyárasokkal és feketefenyvesekkel összehasonlítva kedvezőbbnek mondható. Ez elsősorban az akácok talajának magasabb humusztartalmának köszönhető, amely erős-közepes pozitív korrelációt mutatott a Collembola diverzitással.

Nemes nyárasok talajbiológiai vonatkozásairól nagyon kevés információ áll rendelkezésre. Ezek a gyorsan növő nemesített fajták/hibridek köztudottan úgymond „kiszarolják” a talajt, ami megmutatkozott a kiskunsági talajparaméter-eredményeiknél is. Ezen kívül a legalacsonyabb humusztartalom is a nemes nyárasok talajára volt jellemző, amely az előbbieken említett összefüggés szerint alacsony Collembola-diverzitást eredményez. Hazánkban Traser (2003) végzett talajzoológiai vizsgálatokat nemes nyárasokban. A Hanságban végzett kutatás is alátámasztotta, hogy a nemes nyárasok fajszegényebb ugróvillás-közösségekkel jellemezhetők, mint a területen őshonos, egykor nagy kiterjedésben megtalálható égerállományok.

ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében elmondható, hogy az egykori homoki tölgyes állományok lecserélése idegenhonos fajok ültetvényeivel mérhető változásokat hozott mind a talajparaméterek, mind pedig a talajlakó mezofauna vonatkozásában. Az ugróvillás-közösségek paramétereiben megmutatkozó szignifikáns csökkenés egyértelműen jelzi a talajdegradáció mértékét.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-2-I kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Arbea J.I. & Jordana R. 1985: Efecto de una repoblación con coníferas en un robleal de Navarra sobre los colémbolos edáficos. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Entomologia Supl.* 1(2): 277–286.
- Babenko A.B., Chernova N.M., Potapov M.B. & Stebaeva M.B. 1994: *Collembola of Russia and adjacent countries: Family Hypogastruridae.* Nauka, Moscow.
- Bacsó A., Dezső I., Maul F., Stefanovics P. & Tusz Zs. 1972: Talajtani gyakorlatok. Egyetemi jegyzet, Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, Gödöllő.
- Bartha D. 2001: Veszélyeztetett erdőtársulások Magyarországon. WWF Füzetek 18. Budapest.
- Bretfeld G. 1999: Symphypleona. In Dunger W. (ed), *Synopses on Palaeartic Collembola.* Vol. 2. *Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz* 71(1): 1–318.
- Bengtsson G. & Rundgren S. 1988: The Gusum Case: A Brass Mill and the Distribution of Soil Collembola, *Canadian Journal of Zoology* 66: 1518–1526.
- Buzás I. (ed) 1988: Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerekönyv 2. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó.
- Cseresnyés I. & Tamás J. 2014: Evaluation of Austrian pine (*Pinus nigra*) plantations in Hungary with respect to nature conservation – a review. *Tájökológiai Lapok* 12(2): 267–284.
- Dányi L. & Traser G. 2008: An annotated checklist of the springtail fauna of Hungary (Hexapoda: Collembola). *Opuscula Zoologica* 38: 3–82.
- Deharveng L. 1982: Cle de détermination des genres de Neanurinae (Collembola) d'Europe et la région Méditerranéenne, avec description de deux nouveaux genres. *Trav. Lab. Ecobiol. Arthr. Edaph.* 3: 7–13.
- Dunger W. & Voigtländer K. 2009: Soil fauna (Lumbricidae, Collembola, Diplopoda and Chilopoda) as indicators of soil eco-subsystem development in post-mining sites of eastern Germany – a review. *Soil Organisms* 81(1): 1–51.
- Egnér H.A.N.S., Riehm H. & Domingo W.R. 1960: Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26: 199–215.
- Fjellberg A. 1980: Identification keys to Norwegian Collembola. *Norsk Entomol. Forening* 1–152.
- Fjellberg A. 1998: The Collembola of Fennoscandia and Denmark. Part I.: Poduromorpha. *Fauna Entomologica Scandinavica* 35: 1–184.
- Gama M.M., Vasconcelos T.M. & Sousa J.P. 1994: Collembola diversity in Portuguese autochthonous and allochthonous forests. *Acta Zoologica Fennica* 195: 44–46.
- Gama M.M., Sousa J.P. & Vasconcelos T.M. 1995: Comparison of Collembolan populations structure from Portuguese forests of *Pinus pinaster* AITON and *Eucalyptus globulus* LABILL. *Bulletin Entomologique de Pologne* 64: 71–89.
- Hammer Ř., Harper D.A.T. & Ryan P.D. 2001: PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1–9.
- Hågvar S. 1987: Why do collembolans and mites react to changes in soil acidity? *Entomologiske Meddelelser* 55(2-3): 115–119.
- Harta I., Winkler D. & Füleky Gy. 2018: Újraerdősítés hatása a talajlakó mezofaunára (Collembola) egykori szántóföldi műtrágyázási tartamkísérleti területen. *Erdészettudományi Közlemények* 8(2): 83–97.
- Hopkin S.P. 1997: *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola).* University Press, Oxford.
- Hornung E.H. 1986: Check list of Collembola on a sandy grassland (Kiskunság National Park, Hungary). *Acta Universitatis Szegediensis, Acta Biologica* 32(1–4): 137–139.
- Hui A., Marraffa J.M. & Stork C.M. 2004. A rare ingestion of the Black Locust tree. *Journal of Toxicology. Clinical Toxicology* 42(1): 93–95. DOI: 10.1081/CLT-120028752
- Jordana R. 2012: Capbryinae & Entomobryini. In: Dunger W. & Burkhardt U. (eds): *Synopses on Palaeartic Collembola.* Vol. 7/1. *Soil Organisms* 84: 1–390.



- Jordana R., Arbea J.I. & Carlos Simón M.J.L. 1997: Collembola, Poduromorpha. Fauna Iberica, Vol. 8. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. 1–807.
- Klimetzek D. 1992: Schädlingsbelastung der Waldbäume in Mitteleuropa und Nordamerika. Forstwissenschaftliches Centralblatt 111(1): 61–69. DOI: 10.1007/BF02741659
- Krebs C.J. 1978: Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance. 6th ed. Benjamin Cummings, San Francisco.
- Kurt G. & Ertel W. 1952: Die Robinie (falsche Akazie) und ihr Holz. Deutscher Bauernverlag, Berlin.
- Lazzaro L., Mazza G., d'Errico G., Fabiani A., Giuliani C., Inghilesi A.F., Lagomarsino A., Landi S., Lastrucci L., Pastorelli R., Roversi P.F., Torrini G., Tricarico E. & Foggi B. 2018: How ecosystems change following invasion by *Robinia pseudoacacia*: Insights from soil chemical properties and soil microbial, nematode, microarthropod and plant communities. Science of the Total Environment 622–623: 1509–1518. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.017
- Lesznay J. 1993: Emlékezés az alföldfásítás évszázadára. Erdészeti Lapok 128(5): 138–145.
- Lindenmayer D.B., Hobbs R.J. & Salt D. 2003: Plantation forests and biodiversity conservation. Australian Forestry 66(1): 62–66. DOI: 10.1080/00049158.2003.10674891
- Loksa I. 1987: Collembola from the Kiskunság National Park. In: Mahunka S. (ed): The fauna of the Kiskunság National Park. Akadémiai Kiadó, Budapest, 78–80.
- Loksa I. 1991: The Collembola fauna of the Bátorliget Nature Reserves (NE Hungary). In: Mahunka S. (ed): The Bátorliget Nature Reserves – after forty years. Studia Naturalia 1(1): 269–277.
- Loksa I. & Bogojević J. 1970: Einige interessante Collembolen-Arten aus der Sandwüste von Deliblat, Jugoslawien. Opuscula Zoologica 10: 125–142.
- Molnár Zs. & Kun A. (eds) 2000: Alföldi erdőssztyepp maradványok Magyarországon. WWF Füzetek 15.
- Ónodi G. 2016: Az idegenhonos, illetve inváziós fajok élőhelyformáló hatásai. Erdészettudományi Közlemények 6(2): 101–113.
- Pielou E.C. 1966: The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology 13: 131–144. DOI: 10.1016/0022-5193(66)90013-0
- Pinto C., Sousa J.P., Graça M.A. & Da Gama M.M. 1997: Forest soil Collembola. Do tree introductions make a difference? Pedobiologia 41: 207–214.
- Pomorski R.J. 1998: Onychiurinae of Poland (Collembola: Onychiuridae). Genus (Supplement), Polish Taxonomical Society, Wrocław, 1–201.
- Potapov M. 2001: Synopses on Palaearctic Collembola: Isotomidae. Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz 73(2): 1–603.
- Rahmonov O. 2009: The chemical composition of plant litter of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and its ecological role in sandy ecosystems. Acta Ecologica Sinica 29:4. 237–243. DOI: 10.1016/j.chnaes.2009.08.006.
- Rice S.K., Westerman B. & Federici R. 2004: Impacts of the exotic, nitrogen-fixing Black locust (*Robinia pseudoacacia*) on nitrogen-cycling in a pine-oak ecosystem. Plant Ecology 174(1): 97–107. DOI: 10.1023/B:VEGE.0000046049.21900.5a
- Sousa J.P. & Gama M.M. 1994: Rupture in a Collembola community structure from a *Quercus rotundifolia* Lam. forest due to reforestation with *Eucalyptus globulus* Labill. European Journal of Soil Biology 30(2): 71–78.
- Sousa J.P., Vingada J.V., Barrocas H. & Da Gama M.M. 1997: Effects of introduced exotic tree species on Collembola communities: the importance of management techniques. Pedobiologia 41: 166–174.
- Stach J. 1930: Apterygoten aus dem nördlichen und östlichen Spanien. Abhandlungen herausgegeben von der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft 42: 3–83.
- ter Braak C.J.F. & Šmilauer P. 2002: CANOCO Reference Manual and Canodraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York.
- Thibaud J.M., Shulz H.J. & Da Gama M.M. 2004: Synopses on Palaearctic Collembola: Hypogastruridae. Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz 75(2): 1–603.

- Tóthmérész B. 1998: Kvantitatív ökológiai módszerek a skálafüggés vizsgálatára. In: Fekete G. (ed): A közösségi ökológia frontvonalai. Scientia Kiadó. Budapest. 145–160.
- Tömösváry Ö. 1883: Magyarországon talált *Smynturus* fajok. Természetrzaji füzetek 7: 31–38.
- Traser Gy. 2003: Hansági nemesnyár és éger erdők ugróvillás (Insecta: Collembola) faunája. Magyar Biológiai Társaság, Budapest. III. Kárpát-medencei Biológiai Szimpózium kiadványa. 153–157.
- Traser Gy. & Csóka Gy. 2001: A mezofauna – Insecta: Collembola – ásoththalmi fenyő- és tölgyerdők talajában. Erdészeti Kutatások 90: 231–240.
- Traser Gy. & Horváth-Szováti E. 2004: Táj-hasznosítás hatása a talajfaunára: ugróvillás (Parainsecta: Collembola) közösségek diverzitása Csévharaszton. Alföldi Erdőkert Egyesület, Kecskemét, 51– 62.
- Tullgren A. 1918: Ein sehr einfacher Ausleseapparat für terricole Tierformen. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 4(1): 149–150.
- Weiner W.M. 1996: Generic revision of Onychiurinae (Collembola: Onychiuridae) with a cladistic analysis. Annales de la Société Entomologique de France 32(2): 163–200.
- Winkler D. & Tóth V. 2012: Effects of Afforestation with Pines on Collembola Diversity in the Limestone hills of Szárhalom (West Hungary). Acta Silvatica et Lignaria Hungarica 8: 9–20. DOI: 10.2478/v10303-012-0001-8
- Zimdars B. & Dunger W. 1994: Tullbergiinae. In: Dunger W. (ed): Synopses on Palaearctic Collembola. Vol.: I. Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz, 68:3–4. 1–71.

Érkezett: 2020. szeptember 08.

Közlésre elfogadva: 2020. október 20.



Téli spájzolás

A mókusok, pelék és számos madár is előszeretettel gyűjt makkot a téli időszak átvészelésére. A terméseket különböző helyeken, így többek között faodvakban rejtik el.

Fotó és szöveg: Koltay András (NAIK ERTI, Mátrafüred)

AZ ACTA SILVATICA & LIGNARIA HUNGARICA 16. KÖTETÉBEN (1–2. SZÁM) MEGJELENT TANULMÁNYOK CÍMEI ÉS KIVONATAI

Az Erdészettudományi Közlemények és az Acta Silvatica & Lignaria Hungaria (ASLH) kölcsönösen közlik a másik folyóirat legutóbbi kötetében megjelent tanulmányok címeit és kivonatait. Ehelyütt az ASLH 16. kötetének (1–2. szám) (2020) tartalmát mutatjuk be a megjelent írások címével és absztraktjával. A közlemények teljes terjedelmükben elérhetők és letölthetők a <http://aslh.nyime.hu> honlapról.

16. kötet 1. szám

9–18. oldal: **Az 'Üllői' akác (*Robinia pseudoacacia* cv. 'Üllői') termesztése: áttekintés** – Rédei Károly, Keserű Zsolt, Bach István, Rásó János, Ábri Tamás, Szabó Fruzsina és Gál János

Magyarországon a fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) az egyik legelterjedtebb exóta fafaj. Az ország erdőterületének 24%-át foglalja el, azonban a faipar nem képes az alacsony minőségű akác faanyagot nagy mennyiségben feldolgozni. Ebből következően, a honi Erdészeti Tudományos Intézet (ERTI) egy szelekciós nemesítési programot indított néhány évtizeddel ezelőtt a faminőség javítása érdekében. Egy- és többklónú fajtákat hoztak létre, valamint fajtaösszehasonlító és termesztési kísérleteket létesítettek. A kiválasztott fajták közül az 'Üllői' akác (*Robinia pseudoacacia* cv. 'Üllői') fajta bizonyult az egyik legjobbnak. Ezt a tényrt figyelembe véve, átfogó áttekintés készült az 'Üllői' akác magyarországi termesztéséről. A tanulmány hézagpótlólag járulhat hozzá a szelektált akácfaajták termesztési technológiájának fejlesztéséhez.

<https://doi.org/10.37045/aslh-2020-0001>

19–38. oldal: **Az erdősávok szerepe intenzíven művelt mezőgazdasági területeken – szántóföldi agrár-erdészet Magyarországon** – Szigeti Nóra, Frank Norbert és Vityi Andrea

Egyes európai országokban komoly hagyományokkal rendelkezik a mezővédő erdősávok telepítése az épített környezet, a szántóföldek védelme, a termelékenység növelése érdekében, a szélerősség csökkentése és a klíma szabályozása által. Ahol ezeket az erdősávokat felszámolták, komoly környezeti problémák merültek fel, mint például erózió, a talaj kiszáradása, defláció, amelyek gazdálkodási nehézségeket okoznak. A korábbi szakirodalom és jelenlegi európai kutatási eredmények alapján úgy tűnik, a területfoglalással együttvéve is előnyösek az erdősávok az intenzíven művelt területeken. Kutatásunk célja, hogy a magyar és nemzetközi szakirodalom alapján összefoglaljuk a mezővédő erdősávok leghatékonyabb felépítéséről rendelkezésre álló információkat, és ajánlásokkal támogassuk a többcélú erdősáv rendszerek tervezését a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás és az intenzív mezőgazdasági technológiák kedvezőtlen hatásainak csökkentése érdekében.

<https://doi.org/10.37045/aslh-2020-0002>

39–50. oldal: **Az Aleppó-fenyő erdei avarjának összehasonlító vizsgálata Nyugat-Algéria száraz és félszáraz területein** – Zouidi Mohamed, Borsali Amine Habib, Allam Ayoub, Gros Raphael, Rebufa Catherine és Farnet Da Silva Anne-Marie

Az erdővel borított területek talaj/növény rendszerében a talaj termékenységének fenntartását az erdei fajok avarprodukcója biztosítja. A termőréteggépződés folyamatának tulajdonságai jelentősen függenek a fajfajösszetételtől, ebből eredően pedig különbségek jellemzik a bomlási folyamatokat és a keletkező humuszformákat. Jelen tanulmányban avarminták fizikai-kémiai tulajdonságait, valamint a bennük lezajló biológiai aktivitást hasonlítottuk össze nyugat-Algéria félszáraz és száraz övezeteiben fekvő tülevelű állományokban. A vizsgálat fő célja a kutatási területekről származó fenyőavar fizikai-kémiai és mikrobiológiai tulajdonságainak jellemzése és összehasonlítása volt. A kutatás során 50 Aleppó-fenyő avarminta tulajdonságait vizsgáltuk minden mintaterületről 5 mintát gyűjtve. Az eredmények szignifikáns ($p < 0,05$) eltérést mutatnak a félszáraz és száraz övezetek mintáinak fizikai-kémiai tulajdonságai között: nedvességtartalom (20,7% – 6,51%), pH (5,98 – 6,14), vezetőképesség (0,42 mS/cm – 0,65 mS/cm), szén (45,74% – 73,42%), nitrogén (1,17% – 0,86%) és C/N arány (37,47 – 73,42). A mikrobiális biomasza átlagának és hatékonyságának összehasonlítása azt mutatja, hogy mindkét zónában homogének a folyamatok, csak kis különbség van az alaplégzésben. Az eredmények alapján Algéria egyéb erdeiben is vizsgálatokat kell végezni az erdei ökoszisztémák működésének és az éghajlati hatások jobb megértése érdekében, különösen a talajra nézve.

<https://doi.org/10.37045/aslh-2020-0003>

51–63. oldal: **Fajok erdőtalajra gyakorolt hatásának összehasonlítása fizikai, kémiai és biológiai talajtulajdonságok alapján** – Heil Bálint, Heilig Dávid és Kovács Gábor

A fajok és a talajképződés összefüggését vizsgáltuk az avarszintben és a 0–10 cm-es felső ásványi talajrétegben európai bükk (*Fagus sylvatica*), közönséges lucfenyő (*Picea abies*) és kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) főfajú erdőkben. Összehasonlítottuk a talaj fő kémiai, fizikai és egyes mikrobiológiai paramétereit, a mikrobiális biomaszt, az alap- és szubsztrát-indukált légzést, lipid-foszfát tartalmat, foszfolipid zsírsav profilokat (PLFA) és a respirációs kinonokat (RQ). A talaj pH, az agyag- és iszap% szignifikánsan alacsonyabb volt, a kicserélhető savasság magasabb volt a lucfenyő esetében, ami a kicserélhető kationok nagymértékű kimosódását mutatja a felső talajrétegben, alacsony bázisjelítettséget eredményezve. A mikrobiális metabolikus aktivitás és a mikrobiális biomasza értéke a lomblevelű erdők talajában szignifikánsan magasabb volt. A respirációs kvóciens (q) értéke a legmagasabb a lucfenyő alatt volt, a mikrobiális lebontás kedvezőtlen feltételeire utalva. Eredményeink bizonyítják a fiziko-kémiai és biológiai talajparaméterek komplex vizsgálatának fontosságát az erdőgazdálkodás talajra gyakorolt hatásának vizsgálatában, adatokat szolgáltatva például az erdőállapot-monitoring tevékenységek fejlesztéséhez.

<https://doi.org/10.37045/aslh-2020-0004>

16. kötet 2. szám

67–78. oldal: **Meteorológiai és egyes termőhelyi tényezők hatása a bükk (*Fagus sylvatica* L.) egészségi állapotára Magyarországon** – Janik Gergely, Pödör Zoltán, Koltay András, Hirka Anikó, Juhász János, Kovács Gyula és Csóka György

A meteorológiai tényezők bükkösökre gyakorolt hatásait 15 mintaterületen gyűjtött hosszútávú (1989-2000) adat-sorokon vizsgáltuk. A lombvesztés értékét különböző meteorológiai tényezőkkel korreláltattuk, a CReMIT (Cyclic Reverse Moving Intervals Techniques) mozgó időablakos módszer segítségével. Ezután az időjárás, termőhelyi és erdőállomány-jellemzőket is bevonva PCA analízist is végrehajtottunk. A lombvesztés erősebb kapcsolatot mutatott a havi maximum hőmérséklettel, mint a havi csapadék-összeggel. A havi nyári napok és hőségnapok összegei a maximum-hőmérséklethez hasonló összefüggéseket mutattak. A korrelációk erőssége nagyobb volt a szárazabb klímájú, bükknek kevésbé alkalmas mintaterületeken. Eredményeink alátámasztják, hogy a jövőben a bükkösök súlyos károknak lehetnek kitéve, ha a klímaváltozás az előrejelzett forgatókönyvek szerint alakul majd.

<https://doi.org/10.37045/aslh-2020-0005>

79–94. oldal: **Tülevelű taxonok tobozainak antioxidáns kapacitása és polifenolos vegyületeinek vizsgálata** – Hofmann Tamás, Visi-Rajczai Eszter, Bocz Balázs, Bocz Dániel és Albert Levente

A tülevelű fajok tobozai olyan hulladék biomasszát képviselnek, melyeket többféle célra is lehetne használni. Az egyik ilyen felhasználási terület a bioaktív anyagok, például antioxidáns polifenolok kinyerése. A tobozérés különböző fenofázisaiban az antioxidáns tartalomra vonatkozó szakirodalmi adatok hiányosak. Jelen cikkben olyan taxonok vizsgálatát végeztük el, melyek vagy Magyarországon gyakoriak, vagy még nem történt meg a vizsgálatuk (*Cedrus atlantica*, *Larix decidua*, *Picea abies*, *Pinus mugo*, *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Pinus wallichiana*, *Tsuga canadensis*, *Tsuga heterophylla*, *Chamaecyparis lawsoniana*, *Taxodium distichum*, *Thuja occidentalis*, *Metasequoia glyptostroboides*, *Thuja orientalis*, *Cryptomeria japonica*, *Cunninghamia lanceolata*). Elvégeztük a zöld, érett és lehullott tobozok összehasonlító vizsgálatát az összes polifenol tartalom (Folin-Ciocalteu), a FRAP (ferric reducing antioxidant power) és a DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) antioxidáns kapacitás meghatározási módszerek segítségével. Az összesített antioxidáns kapacitás kiértékelése a három módszer egyesítésével, egy pontrendszer segítségével történt meg. Összességében a legnagyobb antioxidáns kapacitást a zöld tobozokra mértük, a legalacsonyabbat a lehullott tobozokra mindegyik taxon esetében. A legmagasabb pontszámot a *Tsuga canadensis*, *Metasequoia glyptostroboides*, *Chamaecyparis lawsoniana*, *Cryptomeria japonica*, *Thuja orientalis* és *Picea abies* zöld és érett tobozai kapták. A kiválasztott minták esetében elvégeztük a polifenol készlet profilozását nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás/tandem tömegspektrometriás eljárással. Az eredmények alapját képezhetik ezen minták bioaktivitás-vizsgálatának.

<https://doi.org/10.37045/aslh-2020-0006>

95–107. oldal: **Felhagyott hulladéklerakók környezeti terhelésének vizsgálata az apoláris kioldható anyagok talajra és a növényzetre gyakorolt hatásán keresztül** – Knapcová Ivana, Hybská Helena, Ollerová Hana, Samesová Dagmar, Váček Ondřej, Lobotková Martina, Veverková Darina és Rétfalvi Tamás

Kutatásunk során a hulladéklerakókban elhelyezett gudron okozta talaj szennyezés hatásait vizsgáltuk. A gudron a pakura vákuumdesztillációját követően visszamaradó olajipari melléktermék. A Szlovák Köztársaságban a gudron lerakók régóta fennálló környezetterhelési kockázatbesorolást kaptak. A vizsgálatban a

szennyezés forrásától négy különböző távolságból származó talajminták apoláris kioldható anyag (NES) tartalmát határoztuk meg, a talaj celluláz aktivitása és a talajlégzés mellett. A lerakók növényzetre gyakorolt hatásának vizsgálata a környező területek fitocönológiai felmérésével történt. A vizsgálatba bevont mindkét lerakó hosszútávú folyamatos szennyezést okozott, amit a NES monitorozás igazolt. A szennyezés terjedésének mértékét a NES koncentrációk változásával lehetett nyomonkövetni. Eredményeink alapján elmondható, hogy a két vizsgálati hely közül a Predajna 2 esetében a talajban jóval kiterjedtebb olajszenyezés volt megfigyelhető. A mintákban mért NES koncentrációk még a legtávolabbi minták esetében is jelentősen meghaladták a jogszabályban megengedett határértéket ($< 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$). A talajlégzés vizsgálata során a termelődő széndioxid mennyisége összefüggést mutatott a NES által jelzett olajszenyezéssel. A magas koncentrációban lévő NES esetén az enzimatis celluláz aktivitás gátlása volt megfigyelhető. A cellulóz enzimatis lebontása csak alacsony NES koncentrációk esetén lehetséges, így csak a lerakótól legtávolabbi mintákban volt mérhető gyenge, illetve közepes aktivitás. Ezekben a mintákban mért mikrobiális aktivitás az olajszenyezés okozta gátló hatás kisebb mértékével indokolható. A talajban mért szennyezés mértékét a növényborítottsági adatok is visszaigazolták.

<https://doi.org/10.37045/aslh-2020-0007>

109–119. oldal: **Erdészeti termelési érték index – a termőhelyi potenciál mutatója** – Schiberna Endre

Az erdészeti termelési érték index (SOFI) az erdők fatermesztésből származó pénzérték termelő képességét jellemzi a korszaki átlagnövedék standardizált pénzügyi értékének kifejezésével és egy meghatározott referencia erdőtípushoz történő viszonyításával. Olyan földrajzi régiókban alkalmazhatók, ahol az erdők főbb fafajok, illetve fafajcsoportok és fatermési osztályok szerinti csoportokba sorolhatók. A potenciális véghasználati fahozam fatermési táblák alapján becsülhető. Az alacsony és magas minőségű fatermékek véghasználati hozamon belüli arányára és azok standardizált pénzértékére alapozva a véghasználati kibocsátási érték kifejezhető, amelyet a vágáskorral osztunk. Ez a standardizált termelési érték viszonyítandó egy faj és fatermési osztály által meghatározott referencia erdő értékéhez, és a könnyebb megjeleníthetőség érdekében 10 ponttal szorozzuk. Ezáltal a referencia-erdő SOFI értéke 10, míg a magasabb értékek magasabb potenciális termelési értéket, az alacsonyabb értékek alacsonyabb potenciális termelési értéket jelentenek. Megfelelő módosításokkal a SOFI többkorú erdőkre is alkalmazható. Elsősorban nagyterületű erdők pénzügyi kibocsátási potenciáljának leírására és összehasonlítására használható. Elsősorban nagyobb erdőterületek potenciális kibocsátásának jellemzésére alkalmazható.

<https://doi.org/10.37045/aslh-2020-0008>

TARTALOMJEGYZÉK

(folytatás a hátsó borítóról)

10. évfolyam 2. szám

- 69 *Sass Vivien, Ódor Péter és Bidló András*
Különböző erdészeti beavatkozások hatása egy gyertyános-tölgyes avartakarójára
- 83 *Ripka Géza*
Erdei fa- és cserjefajok gubacsatkái
- 97 *Koltay András, Fűrjes-Mikó Ágnes, Tenorio-Baigorria Imola, Eötvös Csaba Béla és Horváth László*
Erdő egészségi állapot vizsgálatok a Kaszó-Life projekt keretében
- 109 *Bali László, Tuba Katalin és Szinetár Csaba*
A Roth-féle száraló erdő arachnológiai vizsgálata
- 125 *Palkó Ákos, Ónodi Gábor, Rédei Tamás és Winkler Dániel*
Talajfaunisztikai- és ökológiai vizsgálatok alföldi reliktum homoki tölgyesekben és a helyükön létesített idegenhonos faállományokban
- 141 **Az Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 16. évfolyamában (1–2. szám) megjelent tanulmányok címei és kivonatai**

*A kéziratok formai követelményeire vonatkozó részletes útmutató
a www.ertudkoz.hu honlapról letölthető.*

*A kéziratokat kizárólag elektronikus formában
a szerkesztoseg@ertudkoz.hu e-mail címre kérjük.*

TARTALOMJEGYZÉK

10. évfolyam 1. szám

- 5 *Cseke Klára, Köbölkuti Zoltán Attila, Benke Attila, Rumi Andrea, Báder Mátyás, Borovics Attila és Németh Róbert*
Nemesnyár klónok faanyagtani jellemzőkhöz köthető génjeinek genetikai változatossága
- 17 *Börcsök Zoltán és Pásztory Zoltán*
Faanyagok hővezetési tulajdonságainak változása a termikus kezelés hatására
- 29 *Börcsök Zoltán és Pásztory Zoltán*
Kéregalapú hőszigetelő lemez tulajdonságainak javítása
- 41 *Bolla Bence és Szabó András*
A NAIK-ERTI hidro-meteorológiai monitoring rendszerének kezdeti eredményei a 2019. évi mérések alapján
- 55 *Frank Norbert és Lett Béla*
Quo vadis erdészeti szaporítóanyag-termesztés? II. (Erdészeti szaporítóanyag-termesztés a II. világháború után)

A 2. szám tartalomjegyzéke a hátsó borító belső oldalán található.

English table of contents can be found on page 4.

www.ertudkoz.hu

HU ISSN 2062-6711



9 772062 671009